

Hälsosamma hus med CLT-stomme

Robin Holmgren

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildning i byggnads- och samhällsteknik

Vasa 2018



EXAMENSARBETE

Författare:	Robin Holmgren
Utbildning och ort:	Byggnadsteknik, Vasa
Inriktningsalternativ:	Produktion
Handledare:	Allan Andersson
Titel:	Hälsosamma hus med CLT-stomme

Datum: 30.3.2018

Sidantal: 67

Bilagor: 16

Abstrakt

Detta examensarbete baserar sig på den allt större medvetenheten om att bygga hållbart, energisnålt, ekologiskt och hälsosamt, samtidigt som man beaktar kretsloppet. Målet med examensarbetet var att utforma ett koncept för en väggstruktur med goda hygroskopiska egenskaper, som både är snabbt och kostnadseffektivt att bygga.

Arbetet behandlar kännetecknen för hälsosamma hus, ekologiska synpunkter, hållbart byggande samt bestämmelser från Miljöministeriet och byggbestämmelsesamlingen. Även bakgrunden till de skadeproblem vi upplever i byggnader behandlas, väsentliga delar angående vad fukt är och hur det påverkar konstruktionerna vi bor i, samt kvalitetssäkring.

Som resultat ges skärningar över väggkonstruktionen, analys över hållfasthet, U-värde och fukttransport, samt en jämförelsekalkyl mot en allmänt använd väggkonstruktion. Stommen i denna består av korslaminerat trä, så kallat CLT – Cross Laminated Timber. CLT-skivor är massiva träskivor med trälameller limmade i kors, vilka fås bearbetade med håltagningar, osv. av CNC maskiner direkt från fabrik med mått upp till 3 x 16 m. Väggkonstruktionen är i sin helhet baserad på produkter av trä, vilket ger en konstruktion som är hygroskopisk och naturligt kan hantera och transportera vattenånga. Detta gör att den naturligt balanserar den relativa fukthalten, vilket ger ett behagligt inomhusklimat.

Språk: svenska

Nyckelord: CLT, hållbart, ekologiskt, hälsosamt

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä:	Robin Holmgren
Koulutus ja paikkakunta:	Rakennustekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto:	Rakennustuotanto
Ohjaaja:	Allan Andersson
Nimike:	Terveelliset talot CLT-puurungolla

Päivämäärä: 30.3.2018

Sivumäärä: 67

Liitteet: 16

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö perustuu kasvavaan tietoisuuteen kestävästä, energiatehokkaasta, ekologisesta ja terveellisestä rakentamisesta, ottaen samalla huomioon ajan kiertokulun. Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella seinärakenne, jolla on hyvät hygroskooppiset ominaisuudet ja joka on nopea ja kustannustehokas rakentaa.

Opinnäytetyössä käsitellään terveiden talojen tunnusmerkkejä, ekologisia näkemyksiä, kestävästä rakentamisesta ja Ympäristöministeriön sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman määräyksiä. Työssä käsitellään myös nykyisten rakennusten vahinkojen ja ongelmien taustoja, ja pääasiallisesti mitä kosteus on ja miten se vaikuttaa rakenteisiin, joissa elämme, sekä laadunvarmistusta.

Opinnäytetyön tulokset ovat seinärakenteen leikkauksia, lujuusanalyysi, U-arvo ja kosteuskäyriä sekä yleisesti käytetyn seinärakenteen vertailulaskenta. Runko koostuu ristiinlaminoiduista massiivipuuelementeistä nimeltään CLT – Cross Laminated Timber. CLT-levyt ovat massiivipuulevyjä, jotka koostuvat toisiinsa ristiin liimatuista lamelli- eli puulevykerroksista. CLT:ä valmistetaan suurina 3 x 16 m:n levyinä ja niitä on mahdollista saada työstettyinä CNC-koneilla suoraan tehtaalta, esimerkiksi ikkunoiden ja ovien rei'itykset. Seinärakenne perustuu kokonaan puutuotteisiin, jotka muodostavat hygroskooppisen rakenteen, joka kykenee käsittelemään ja siirtämään vesihöyryä luonnollisella tavalla. Puutuotteet tasaavat myös sisäilman kosteuden vaihtelua luonnon omalla menetelmällä.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: CLT, kestävä, ekologinen, terveellinen

BACHELOR'S THESIS

Author:	Robin Holmgren
Degree Programme:	Construction Engineering, Vaasa
Specialization:	Production
Supervisor:	Allan Andersson
Title:	Healthy Houses with CLT-frame

Date: March 30, 2018

Number of pages: 67

Appendices: 16

Abstract

This Bachelor's thesis was based on the increasing awareness of building sustainable, energy-efficient, ecological, and healthy houses with a circular mindset. The aim of this thesis was to design a concept for a wall structure with good hygroscopic properties, that is both fast and cost-effective to build.

The thesis deals with the hallmarks of healthy houses, ecological aspects, sustainable building and regulations and the building codes given by the Ministry of the Environment. Also, the background to the problems we experience in our buildings and essential parts about what moisture in buildings is and how it affects the buildings, in which we live, are covered as well as the quality assurance for building with controlled moisture control.

As a result, you can see cross sections, structural analysis, U-value and vapor transport, as well as comparative calculations against a commonly used wall structure. The frame consists of Cross-Laminated Timber, also known as CLT, which is a massive wood panel product with slats that are glued together crosswise. The CLT-board can be manufactured with window and door openings, for instance, with measures up to 3 x 16 m. The wall structure is in its entirety based on wood products, which provides a construction that is hygroscopic and naturally can handle the water vapor transport. Therefore, it also balances the relative humidity naturally, which gives a pleasant indoor climate.

Language: Swedish

Key words: CLT, sustainable, ecological, healthy

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Uppdragsgivare och objekt	1
1.2	Bakgrund	2
1.3	Syfte och mål	2
1.4	Tillvägagångssätt och metoder	3
1.5	Avgränsning	3
1.6	Nulägesanalys	3
2	Hälsosamma hus	5
2.1	Kännetecken	5
2.2	Ekologiska synpunkter	5
2.3	Hållbart byggande	6
3	Bestämmelser i Finland	6
3.1	Markanvändnings- och bygglagen	7
3.1.1	Hälsosamt och ekologiskt enligt MBL och MBF	8
3.2	Finlands byggbestämmelsesamling	9
3.2.1	Energiprestanda	9
3.2.2	Krav på energiprestanda	10
3.2.3	Klimat- och energimål i framtiden	11
3.2.4	Småhus	11
3.2.5	Energicertifikat	12
3.2.6	Byggnadsmantelns lufttäthet	13
3.2.7	Värmegenomgångskoefficient	14
3.2.8	Brandsäkerhet	15
4	Fukt i byggnader	18
4.1	Fuktmekanik	18
4.1.1	Fukttillstånd	20
4.1.2	Fukttransport	21
4.1.3	Teori	23
4.2	Fuktskador	25
4.2.1	Mögelindex	26
4.2.2	Bakgrund	28
4.3	Kvalitetssäkring	30

5	CLT	31
5.1	Allmänt	31
5.2	Fördelar och egenskaper	32
5.2.1	Lufttäthet	33
5.2.2	Fuktegenskaper	33
5.2.3	Diffusionsegenskaper	34
5.2.4	Ljudisolering	35
5.2.5	Brandisolering	36
5.2.6	Värmekapacitet	36
5.2.7	Värmeledningsförmåga	37
5.2.8	Köldbryggor	37
5.3	Skivtyper	38
5.3.1	Ytskiktsskisser	39
5.4	Hantering	39
5.5	Användningsområden	40
5.6	Anslutningar	41
5.6.1	Fönster och dörrar	44
5.7	Marknadsläget	45
6	Utformning av väggkonstruktion	46
6.1	Materialval	47
6.1.1	CLT	47
6.1.2	Ångbroms	49
6.1.3	Lättbalk	50
6.1.4	Värmeisolering	51
6.1.5	Vindskydd	53
6.1.6	Fasadpanel	54
6.2	3D skärning	54
6.3	2D skärning	55
7	Analys och funktionsduglighet	56
7.1	Hållfasthet	57
7.2	U-värde och fukttransport	58
8	Kostnadskalkyl	61
9	Sammanfattning	62
	Källförteckning	63
	Bilagor	

1 Inledning

Framtidsutsikterna för byggande överlag är på väg att övergå i en allt större medvetenhet om att bygga hållbart, energisnålt, ekologiskt och hälsosamt med kretsloppet i åtanke.

På marknaden överväger fler och fler privatpersoner timrade stockhus istället för de traditionella elementhusen då de tänker på att bygga hälsosamma hus för framtiden. Prismässigt är då stockhusen dyrare, vilket oftast är till elementhusens fördel då valet faller. Stockhusen kan också upplevas komplicerade av lekmän då virke är ett "levande material", vilket kräver en del skötsel och underhåll under brukstiden, och blir därför andrahandsvalet.

Men finns det några alternativ som prismässigt skulle kunna vara ett konkurrenskraftigt alternativ i framtiden? Har vi teknologi, produkter och byggnadsteknik som kan utvecklas?

Detta examensarbete är i första hand utarbetat som ett framtida komplement till det husbyggande vi ser idag, genom att beakta trämaterialens naturliga hållbarhet och egenskaper och involvera detta i vårt tankesätt när vi bygger klimatsmart för framtiden.

1.1 Uppdragsgivare och objekt

Examensarbetet är utfört på beställning av Arkitek Oy Ab, åt vilka jag utförde min företagsförlagda utbildning under perioden september – december 2017.

Arkitek inledde sin verksamhet 2016 som nystartat företag. Företaget är beläget i Malax och utför olika typer utav byggnadsplanering, konsultering- och övervakning samt traditionella byggnadsarbeten. Företaget vill erbjuda kunderna en helhetslösning med skräddarsydda lösningar och vänder sig till hela Österbotten med omnejd.

Företagets målsättning är att underlätta byggandet för kunden och erbjuda enkla och hållbara lösningar. Arkitek strävar efter att skapa ett långsiktigt samarbete med dess kunder, vilket ger en trygghet genom hela byggnadsprocessen och höjer värdet i boendet och arbetsmiljön.

Uppgiften detta examensarbete grundar sig på, är en vision att utveckla ett väggelement som förbättrar och snabbar upp arbetsskeden, som enligt erfarenhet oftast är onödiga moment. Moment som kunde förbättras är bland annat inpassningar av fönster och dörrar, samt liknande typer som kunde förberedas i prefabricerade element. På byggarbetsplatsen skulle då kvarstå ett snabbt och enkelt monteringsförfarande med bättre precision och slutresultat.

1.2 Bakgrund

Tanken kring en väggkonstruktion baserad på CLT-skivor baserar sig på att effektivisera byggprocessen på arbetsplatsen och eliminera onödiga flaskhalsar som gör arbetet kostsamt. Baserat på erfarenheter ur arbetslivet kan ges många exempel på vad som kunde effektivisera byggandet med hjälp utav maskinbearbetade CLT-skivor, direkt från fabrik.

Med tanke på de allmänt använda isoleringsmaterialen, glas- och stenull, så kallad mineralull, ges en tankeställare när allt högre krav ställs på konstruktionens värmeisoleringsförmåga. Tjockleken på isoleringen ökar i takt med att kraven höjs och detta leder i sin tur till att risken med fuktskador och mögelangrepp ökar. De allmänt använda materialen har ej heller de hygroskopiska egenskaper som kunde hantera en viss fukt och värmeläckagen räcker inte längre till att torka konstruktionerna. En konstruktion med mineralull kan i värsta fall vara en riskkonstruktion redan från början, vilket kan vara en bakomliggande orsak till de problem vi upplever med inomhusmiljön idag. (Adolfi, 2002).

1.3 Syfte och mål

Syftet med detta examensarbete var att utforma ett koncept för en väggstruktur, med goda hygroskopiska egenskaper, som både är snabbt och kostnadseffektivt att bygga. Konstruktionen skulle även, i viss mån, få vara ånggenomsläpplig utan att problem uppstår.

Målet var att ta fram en väggkonstruktion som utgick från CLT-skiva som bärande stomme. Isoleringen skulle vara utvändig och fixeras på ett vis som minimerade köldbryggorna. Utvändigt skulle isoleringen täckas med vindskyddsskivor för att undvika konvektion samt en tvåstegstätad fasad som väderskydd, med liggande panel och ventilerad luftspalt bakom.

Väggkonstruktionens material skulle vara naturbaserade, vilket innebär att fukten har möjlighet att vandra i konstruktionen = en av framtidens lösningar för hållbart byggande. Konstruktionen skulle även, med vissa ändringar, kunna tillämpas i golv, väggar och tak.

Konstruktionen skulle uppfylla de byggnadstekniska kraven som ställs i Finlands byggbestämmelsesamling. Fungera som ett konkurrenskraftigt alternativ på marknaden för liknande naturbaserade konstruktioner, samt kunna benämnas med uttrycket "hälsosamt".

I samband med examensarbetet skulle även utarbetas en kostnadskalkyl som beräknade enhetspriser enligt väggens uppbyggnad, för att lätt kunna användas vid offertberäkning.

1.4 Tillvägagångssätt och metoder

De första kapitlen i examensarbetet innehåller bakgrund, terminologi och principer som man bör känna till vid träbyggande. I de senare kapitlen tillämpas dessa på produkten.

Nödvändig information för examensarbetet inhämtades med hjälp utav böcker, tidskrifter, leverantörer samt internetkällor, vilka bedömdes med källkritik.

Vid utformningen av väggkonstruktionen påvisades tillräcklig hållfasthet med ett dimensioneringsprogram framtaget för CLT. Värme- och fuktmekaniken beräknades med beräkningsprogrammet DOF-Lämpö. Fuktmekaniskt analyserades fuktförhållanden och fuktvandringen för eventuell kondensation. Detta för att påvisa väggens funktionsduglighet.

Kostnads kalkylen utgår ifrån en sedan tidigare kalkylerad väggkonstruktion som genom prisuppföljning blivit verifierad. Beräkningarna tas fram för att kunna jämföra och använda den nya CLT-baserade väggkonstruktionen som en enhet (€/m² vägg) i offertberäkningar.

1.5 Avgränsning

Examensarbetet avgränsas till att kortfattat beskriva begrepp som behövs för förståelse av byggnadsfysiken, samt de uttryck som förekommer när vi talar om hälsosamma hus.

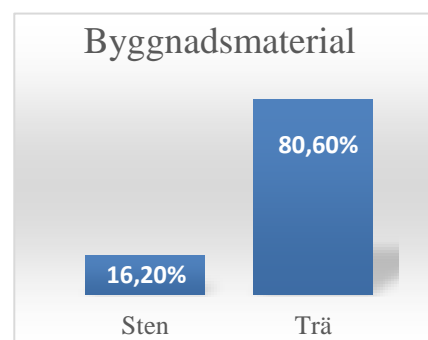
Arbetet begränsas till en väggkonstruktion för småhus, då denna kan anpassas för att användas i golv, väggar och tak. Väggkonstruktionens brandklass begränsas till REI-30.

Konstruktionen utgår ifrån klimatet i Finland, men även vad som händer vid en omvänd fuktvandring analyseras för behov hos ouppvärmade byggnader samt andra länders klimat.

1.6 Nulägesanalys

I Finland är det småhusen som dominerar antalet i byggnadsbranschen. Materialen som blir använda som bärande stomme är främst trä och stenmaterial, (Figur 1). Trämaterial i bostadsbyggnader år 2016 var procentuellt sett 84,4 % medan stenmaterialens andel var 13,1 %.

En något uppåtgående trend från år 2000, då andelen var 83,5 % respektive 12,3 %. För alla typer utav byggnader var dessa år 2016 80,6 % respektive 16,2 %, medan de år 2000 var 80,0 % och 15,0 %. (Statistikcentralen, 2017a).



Figur 1. Stommaterial i byggnader
(Statistikcentralen, 2017a).

Med byggnadsmaterial avses i denna statistik, materialet byggnadens bärande konstruktion i huvudsak består av. Klassificeringen innehåller betong, lättbetong, tegel, stål och trä. (Statistikcentralen, u.å.).

I Finland byggdes mest bostäder under 1970- och 1980-talet och en ökning av bostadsbeståndet har minskat jämfört med tidigare decennier. I slutet av år 2016 fanns nästan 3 miljoner bostäder i Finland, av dessa var 314 000 utan permanent boende. Antalet bostäder ökade med 34 000 från året innan. Sedan 1990 har antalet nya bostäder ökat med 759 000, dvs. i genomsnitt byggs det 29 000 bostäder årligen. (Statistikcentralen 2017b, s. 3).

Antalet radhus har sedan 1970-talet ökat markant. 1970 var antalet radhusbostäder 30 000 och i slutet av 2016 var antalet uppe i 405 000, vilket indikerar på en god efterfrågan på radhuslägenheter. Andelen bostäder i flervåningshus var 2016 46 % av alla bostäder, vilket är 198 000 fler bostäder än andelen fristående småhus. (Statistikcentralen 2017b, s. 3).

Omkring hälften av alla finländare bor i fristående småhus, vilket ses i nedanstående tabell:

Tabell 1. Boendeförhållanden 2016.

Hustyp	Bostadshushåll	%	Personer	%
Alla bostadshushåll	2 654 657	100,0	5 377 099	100
Fristående småhus (egnahemshus eller parhus)	1 053 548	39,7	2 669 625	49,6
Radhus	363 578	13,7	711 332	13,2
Flervåningsbostadshus	1 192 001	44,9	1 918 162	35,7
Övriga byggnader (affärsbyggnader o.d.)	45 530	1,7	77 980	1,5

(Statistikcentralen, 2017b).

Enligt byggnadsingenjör Ben Tuomela (personlig kommunikation 27.2.2018) är stommen för de småhus som byggs idag, främst byggda som moduler eller prefabricerade element. Även platsbyggda hus förekommer, stockhus hör också till denna kategori då de monteras på plats. Lageruppbyggnaden och materialen är vanligtvis de samma, men miljön de byggs i skiljer. De platsbyggda kan utsättas för onödig påfrestning av fukt och väderskydd måste beaktas.

För det mesta finns alternativ till dessa, med andra isoleringsmaterial och ångbromsar, men i huvudsak består stommen av samma material. Fördelen med moduler och element är att processen på arbetsplatsen går snabbare och konstruktionerna kan skyddas från väder och vind tidigare. I och med detta kan risken för fuktskador i byggskedet och följdproblemen minskas.

Intressenter för stockhus har också ökat, då folk vill ha en konstruktion som andas. Miljömedvetenheten har ökat och en oro förekommer om att ”normala hus”, med många olika material inuti konstruktionen, har större benägenhet till skador vilket kan leda till ohälsa.

2 Hälsosamma hus

Enligt Miljöförvaltningens hemsidor är utgångspunkten för en bra levnads- och verksamhetsmiljö en hälsosam byggnad utgående från bra planering och byggande. Byggnader skall planeras och byggas så att det under normala omständigheter tryggar ett hälsosamt, säkert och trivsamt klimat. Även fukt-, värme- och ljusförhållanden beaktas. Byggnaden får inte medföra risker för hälsan och för att beakta hur hälsosam en byggnad är beaktar man även användningsändamålen och förhållanden orsakade av omgivningen. (Miljöförvaltningen, 2013a).

2.1 Kännetecknen

Kännetecknande för begreppet hälsosamma hus är oftast byggnadsmaterialen. Dessa är oftast traditionella, naturliga material som under decennier av byggande blivit använda. Materialen är ofta producerade av naturliga eller återvunna material och innehåller hygrokopiska egenskaper, en egenskap att uppta och transportera vattenånga naturligt.

Användningen av dessa material har överlag övergått till andra material, med andra egenskaper, i samband med strävan efter energisnåla hus och nya produkter på marknaden. Detta har i sin tur lett till delade uppfattningar bland lekmän då olika tekniker blandats ihop. Något som kan förekomma är bl.a. att isoleringsmaterialet som används, vanligtvis mineralull, inte anpassas efter konstruktionen och att ångspärr- eller ångbroms lämnas bort. Det förekommande är att byggherren vid renoveringar och energiförbättringar, blandar ihop olika tekniker och material med felaktiga egenskaper. (*Vasabladet*, 30.1.2016).

Uttrycket ”andande konstruktion” är ofta något som används på fel sett när det talas om de ”hälsosamma husen”. Personer, främst lekmän, förknippar de ”andande konstruktionerna” med konstruktionens lufttäthet istället för dess förmåga att uppta och transportera ånga, vilket yttrar sig i olika typer utav riskkonstruktioner. (Konstruktionssäkerhet r.f., u.å.).

2.2 Ekologiska synpunkter

Miljökonsekvenser och kostnader för byggnader under brukstiden, kan minimeras och energieffektiviteten förbättras genom att i byggnadsskedet beakta materialvalen och energiformerna som finns tillgängliga på marknaden. I Finland utgör energiförbrukningen i byggnader ca. en tredjedel av växthusutsläppen. (Miljöförvaltningen, 2013b).

Den nya miljömedvetenheten har börjat ställa nya krav och frågeställningar för att skapa sundare byggnader. Nya miljökrav för materialen har börjat ställas: Är de ekologiska? Avger de emissioner? Vilken typ av emission? Vilka råvaror används? Ofta hänvisas det till gamla beprövade material och byggnadstekniker när det talas om ekologiskt byggande. Dagens förutsättningar kan dock vara annorlunda, därför är det viktigt med kunskaper om materialet och byggnadsfysiken, om man vill bygga sunt och ekologiskt. (Burström 2006, s. 8–10).

2.3 Hållbart byggande

Dagens byggande fokuserar på människors behov av livskvalitet, hälsa och resurser. Men för att framtiden för detta skall tryggas, krävs det att branschen satsar på hållbart byggande. De ekologiska aspekterna för hållbart byggande är bland annat att beakta livscykeln vid val av materialen och klimatanpassa byggnaderna. Användningen av resurser såsom mark, vatten och energi skall ske på ett resursbesparande och effektivt miljöanpassat sätt. Även förnyelsebara energikällor skall prioriteras. (Boverket, 2017).

De ekonomiska aspekterna kring hållbart byggande gäller bland annat att skapa förutsättningar för rimliga bostadskostnader och hushålla med resurser såsom mark, vatten och energi. Detta tankesätt bygger på ekonomin som ett kretslopp. En cirkulär ekonomi som uppnår resurseffektiva, giftfria kretslopp. (Boverket, 2017).

3 Bestämmelser i Finland

I Finland är det Miljöministeriet som ansvarar över bestämmelserna som reglerar byggande. Markanvändnings- och bygglagen [MBL] och markanvändnings- och byggförordningen [MBF] innehåller allmänna förutsättningar, väsentliga tekniska krav samt om myndigheters tillsyn över byggande. Utöver dessa lagar tillämpas Finlands byggbestämmelsesamling [ByggBS], innehållande närmare föreskrifter och anvisningar. (Miljöministeriet, 2016a).

För rekommendationer och anvisningar överensstämmande med byggnadsbestämmelserna upprätthåller Rakennustieto [Bygginfo] en databas innehållande s.k. RT-kort. RT-korten innehåller anvisningar och information om bl.a. konstruktioner och olika typer utav planering. Utöver dessa tillhandahåller Bygginfo RYL-kort för olika delområden, vilka är de allmänna kvalitetskraven för byggande samt övriga typer utav vägledningsdokument. (Rakennustieto, 2005).

Förordningarna gällande byggande kommer att revideras under 2018 i enlighet med vad som beslutades i och med markanvändnings- och bygglagen 2013. De tidigare föreskrifterna och anvisningarna i ByggBS kan under övergångsperioden tillämpas tills de nya utfärdats.

Bakgrunden till revideringen är att byggbestämmelserna skall förtydligas och möjliggöra enhetlig och förutsägbar tillämpning. I samband med detta kommer även regleringen minska.

Detta innebär också att arbetet utgår ifrån de lagar och förordningar vilka var aktuella under perioden för examensarbetet. Gällande lagstiftning måste kontrolleras innan förverkligande.

(Miljöministeriet, 2016a).

3.1 Markanvändnings- och bygglagen

Markanvändnings- och bygglagen innehåller bestämmelser om användning och byggande. Syftet med denna lag är att skapa en hälsosam, säker och trivsamt livsmiljö.

Markanvändnings- och bygglagens syfte är att:

- ”Reglera områdesanvändningen och byggandet för att skapa en bra livsmiljö.”
- ”Främja en ekologisk, ekonomisk, socialt och kulturellt hållbar utveckling.”
- ”Tillförsäkra medborgarna en möjlighet att delta i beredningen av ärenden.”
- ”Säkerställa att planeringen är högklassig och sker i växelverkan, att det finns tillgång till mångsidig sakkunskap och att det ges öppen information.”

Markanvändnings- och bygglagen [MBL] (132/1999) och markanvändning och byggförordningen [MBF] (895/1999) innehåller bland annat bestämmelser om:

- Planläggning
- Kommunernas byggnadsordning
- Planering och byggande på strandområden
- Tomtfördelning
- Inlösning i anslutning till samhällsbyggande
- Allmänna krav på byggande
- Bygglov och annan byggnadstillsyn

(Miljöministeriet, 2013a).

3.1.1 Hälsosamt och ekologiskt enligt MBL och MBF

Enligt markanvändnings- och bygglagen 117 § (1992/132) skall byggnader uppföras på ett sådant sätt att den är ”sund och säker med avseende på inomhusluft, fukt-, temperatur- och ljusförhållanden samt vattenförsörjning”. Hälsan får ej heller påverkas av fukt i byggnadsdelar eller konstruktioner, föroreningar i inomhusluften, strålning, föroreningar, rök, avloppsvatten eller avfall.

Byggandet skall ske med produkter som inte under deras livslängd orsakar oacceptabla utsläpp i inomhusluften, hushållsvattnet eller miljön. Det bör också finnas system och anordningar som är anpassade till användningen och som upprätthåller sunda förhållanden. (Finlex, 132/1999).

Kraven på en byggnad regleras också i markanvändnings- och byggförordningen 55 § (1999/895) då miljökonsekvenserna beaktas under byggnadens användningstid, enligt användningsändamålet, vilket förutsätter hållbarhet i form av ekologiska egenskaper.

Vid planerandet av en byggnad skall man, i mån av möjlighet, utreda miljöbelastningen under byggnadens livslängd som byggnadsmaterialen och byggnadsförnödenheterna orsakar. Vid problem eller behov skall också byggnadsdelarna eller de tekniska anordningarna kunna repareras eller bytas ut. (Finlex 895/1999, 55 §).

Vid ansökan eller anmälan för byggande eller rivning av en byggnad, skall en utredning kring avfallet ges, såvida mängden avfall inte är ringa. Utredningen skall innehålla mängden och slaget av byggavfall, hanteringen av denna, samt hur sorteringen skall förverkligas. Särskilt bygg- eller rivningsavfall som kan vara skadligt för miljön eller hälsan, skall rapporteras. (Finlex 895/1999, 55 §).

För byggnaden skall också utarbetas en bruks- och underhållsanvisning i vilken den planerade användningstiden för byggnaden beaktas med tanke på den ekologiska livscykeln. (Finlex 895/1999, 55 §).

3.2 Finlands byggbestämmelsesamling

Miljöministeriet har listat följande förordningar för sunda byggnader:

- C2 (1998) *Fukt, föreskrifter och anvisningar*.
 - Föreskrifter och anvisningar som beskriver hur byggnader skall konstrueras för att förhindra uppkomsten av skador och olägenheter orsakade av fukt.
 - Innehåller bland annat väsentliga krav om byggnadens fukttekniska funktion.
- D1 (2007) *Vatten- och avloppsinstallationer, föreskrifter och anvisningar*.
 - Föreskrifter och anvisningar gällande vatten- och avloppsinstallationer i byggnader.
 - Berör bland annat hushållsvattnets kvalitet samt installationsföreskrifter.
- D2 (2012) *Byggnaders inomhusklimat och ventilation, föreskrifter och anvisningar*.
 - Föreskrifter gällande inomhusklimatet och dess ventilation för byggnader.
 - Hur byggnader bör planeras för att uppnå ett, inom vistelsezonen, hälsosamt, tryggt och trivsamt inomhusklimat under alla väderleks- och driftförhållanden.

(Miljöministeriet, 2016b).

3.2.1 Energiprestanda

I enlighet med Miljöministeriets förordning om byggnaders värmeisolering och byggnaders energiprestanda den 22 december 2008. Skall byggbestämmelsesamlingens del D3 tillämpas för nya byggnader gällande uppvärmning, ventilation samt kylning för att upprätthålla ett lämpligt inomhusklimat från och med den 1 juli 2012. (ByggBS D3, 2012).

I Finlands byggbestämmelsesamling D3 (2012) hittas föreskrifter om bland annat:

- Krav på energiprestanda
- Kontroll av rumstemperatur
- Byggnadsmantelns täthet
- Värmegenomgångskoefficient för byggnadsdelar
- Byggnaders värmeförluster
- Utgångspunkter för energiberäkning

3.2.2 Krav på energiprestanda

Den totala energiförbrukningen (E-tal) skall beräknas för nya byggnader. E-talet är den beräknade årliga förbrukningen av köpt energi per uppvärmd nettoarea (kWh/m² per år) beaktad med energiformsfaktorer som är en värdering av olika energislag. De maximala tillåtna E-talen för olika byggnadstyper finns tillhanda på sidan 9 i ByggBS D3 (2012). (Byggnadskalendern 2013, s. 248–249).

Tabell 2. Tillåtna E-tal för småhus och stockhus.

2.1.4

E-talet för en ny byggnad får inte överskrida följande värden:

Kategori 1	Fristående småhus, radhus och kedjehus	Uppvärmd nettoarea, A_{netto}	kWh/m ² per år
	Småhus	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	204
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$372 - 1,4 \cdot A_{\text{netto}}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$173 - 0,07 \cdot A_{\text{netto}}$
		$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	130
	Stockhus	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	229
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$397 - 1,4 \cdot A_{\text{netto}}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$198 - 0,07 \cdot A_{\text{netto}}$
		$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	155
Radhus och kedjehus		150	

(ByggBS D3, 2012).

Energiformsfaktorernas syfte är att uppmuntra till bättre energiprestanda och hållbar användning av våra naturresurser. Vid användning av energikällor som har högre formfaktorer måste istället byggnaden kompensera med att ha ett lågt energibehov. (Byggnadskalendern 2013, s. 248–249).

Byggnader skall projekteras och uppföras energieffektivt, på det sätt som användningsändamålet förutsätter, av den som påbörjar ett byggprojekt. Energieffektivt i den bemärkelsen att energi- och naturresurser förbrukas sparsamt. Utförda beräkningar skall även påvisa att minimikraven för energiprestanda uppfylls. (Miljöministeriet, 2016c).

Tekniska system och dess reglage och mätare som används i byggnaden skall vara sådan att energiförbrukningen och effektbehovet förblir låga när systemet används för avsett syfte. Energiförbrukningen skall även, om det är möjligt, kunna följas. (Miljöministeriet, 2016c).

Vid reparationer eller ändringar av en byggnad som kräver byggnadslov eller åtgärdstillstånd, skall energiprestandan förbättras i den mån det är tekniskt, funktionellt och ekonomisk genomförbart. (Miljöministeriet, 2016c).

3.2.3 Klimat- och energimål i framtiden

Europeiska unionen har i sitt bindande klimat- och energimål för år 2020 listat följande:

- Minska EU:s växthusgasutsläpp med minst 20 % jämfört med 1990 års nivå
- Öka andelen energi ifrån förnybara energikällor till 20 %
- Minska energiförbrukningen med 20 % genom bättre energieffektivitet

Europeiska unionens ledare enades dessutom 2014 om klimatmålet för år 2030:

- 40 % lägre växthusgasutsläpp jämfört med 1990 års nivå
- 27 % förnybar energi
- 27 % bättre energieffektivitet

(Europeiska unionen [EU], u.å.).

Länderna inom den Europeiska unionen har även åtagit sig att minska utsläppen ytterligare ifall också andra stora ekonomier tar sitt ansvar för att minska utsläppen. Detta eftersom det på längre sikt kommer att krävas ännu större minskningar på utsläppen för att förhindra farliga klimatförändringar. EU har bland annat lovat minska utsläppen med 80–95 % jämfört med 1990 års nivåer till år 2050 om andra utvecklade länder gör detsamma. (EU, u.å.).

Finlands specifika mål är att öka andelen förnybar energi till 38 % av den slutliga energiförbrukningen. Samt minska utsläppen med 16 % inom sektorer såsom byggande, boende och uppvärmning av byggnader. (Miljöministeriet, 2013b).

”Slutlig energianvändning innebär energi som levereras till industrin, transporter, hushåll, tjänster och jordbruk, dock inte energi som använts för omvandling eller produktion av energi.” (Finlex 1338/2016, 3 §).

3.2.4 Småhus

Energiprestandan hos småhus har kopplats samman till byggnadens areal eftersom denna påverkar energiförbrukningen. Kraven hos mindre hus ($< 120 \text{ m}^2$) har lättats då värmeförlusterna i ytterskalets hörn är proportionellt större än i större småhus. Även lättnader för att säkra investeringen i ett dyrbarare uppvärmningssystem har beaktats. Detta även med glesbygden beaktat, eftersom det inte finns tillgång till alla energialternativ där. (Byggnadskalendern 2013, s. 252).

Lättnaden tillåter exempelvis direkt elvärme om en magasinerande eldstad finns tillgänglig och värmeisoleringen i ytterskalet är något bättre, mellan 26–34 cm tjock beroende på materialet. Kravet på tjockleken påverkas även av vilken konstruktion det handlar om. (Byggnadskalendern 2013, s. 252).

I större småhus ($> 150 \text{ m}^2$) är investeringen i förnybar energi inte lika påtaglig i förhållande till investeringen överlag. Kraven för mycket stora småhus ($> 330 \text{ m}^2$) är därför de samma som för radhus. I större småhus som värms med pellets, jordvärme eller fjärrvärme skall isoleringen i ytterskalet vara mellan 17–24 cm tjock, beroende på material. Vid användningen av direkt el krävs en effektiv elanvändning, dvs. mindre värmeförluster krävs. Kravet på ytterskalets isolering är då högst 45 cm, beroende på isoleringsmaterial. (Byggnadskalendern 2013, s. 252–253).

Stockhus som är avsedda att bebos året runt, har samma krav som småhus av samma storlek, med undantag av E-talet vilket är 25 kWh/m^2 större än för ett småhus av samma storlek. Det högre talet tar hänsyn till att bevara traditionellt husbyggande och de facto att stockhus har en skonsammare livscykel med tanke på miljön. (Byggnadskalendern 2013, s. 253).

3.2.5 Energicertifikat

Energicertifikatet anger byggnaders energiprestandaklass och innehåller rekommendationer för hur energiprestandan kan förbättras. Certifikatet är ett verktyg för att kunna jämföra och förbättra energiprestandan hos byggnader vid köp, försäljning och uthyrning. (Byggnadskalendern 2013, s. 315).

I Finland har energicertifikat vid bygglovsansökan krävts för nya byggnader från och med år 2008. Sedan 2009 har det även krävts energicertifikat vid uthyrning och försäljning av större byggnader och nya småhus. (Byggnadskalendern 2013, s. 317).

Från och med att lagen om energicertifikat för byggnader (50/2013) trädde i kraft den 1.6.2013 gällde en övergångsperiod för vissa typer utav byggnader. För radhus och kedjehus samt affärs- och kontorsbyggnader gäller de nya bestämmelserna från den 1 juli 2014, och för byggnader inom vårdbranschen, samlingsbyggnader och undervisningsbyggnader gäller bestämmelserna i och med den 1 juli 2015. För småhus byggda före 1980 behövs energicertifikat från och med den 1 juli 2017. (Byggnadskalendern 2013, s. 315–316).

Om fastigheten anses ha ringa värde, hyran är låg eller objektet inte är offentligt kan certifikatet upprättas med ett förenklat förfarande. Energicertifikat krävs ej heller för bl.a. fritidsbostäder, skyddade eller små byggnader på högst 50 m^2 . Certifikat som utfärdats gällande den gamla lagen är i kraft till giltighetstidens slut. Disponentintygens energicertifikat gällde till utgången av 2014. (Byggnadskalendern 2013, s. 316).

3.2.6 Byggnadsmantelns lufttäthet

Enligt Byggbeskrivning D3 (2012), skall såväl byggnadsmanteln samt konstruktionerna mellan olika rum vara så lufttäta att det inte vållar problem med tanke på byggnadens användare, konstruktioner eller energiprestanda. Särskild vikt skall läggas till att fogar och genomföringar utförs och projekteras med omsorg. Vid behov skall även luftspärr användas.

Lufttätheten inverkar på bland annat byggnadens energianvändning, minimerar risken för fuktskador och behövs för önskad funktionalitet av ventilationssystemet. Tätheten kan bestämmas genom att utföra en lufttäthetsmätning enligt standarden SFS-EN 13829. (Byggbeskrivning D3, 2012).

För att säkerhetsställa ett gott inomhusklimat med god energiprestanda och ett fungerande fukttekniskt skydd, bör luftläckagetallet (q_{50}) vara högst 1 ($\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$) då tryckskillnaden mellan inne- och uteluften är 50 Pa. Det högsta tillåtna värdet för (q_{50}) är 4 ($\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$). (Byggbeskrivning D3, 2012).

För att okontrollerade skadliga luftströmmar genom konstruktionen skall förhindras, krävs det att minst ett skikt i konstruktionen fungerar som luftspärr. Om det inte finns särskilt skikt som fungerar som luftspärr, skall det i värmeisoleringen finnas ett skikt med så låg luftgenomsläpplighet att det kan fungera som sådant. (Byggbeskrivning C4, 2003).

Om konstruktionen kan släppa igenom skadliga mängder vattenånga eller luft, skall ång- och lufttätheten säkras genom att installera ändamålsenliga skikt som fungerar som ångspärr, luftspärr och vindskydd. (Byggbeskrivning C2, 1998).

Ånggenomgångsmotståndet på den varma sidan av värmeisoleringen skall vara minst fem gånger så stort som ånggenomgångsmotståndet på den kalla sidans materialskikt. Om detta inte uppnås skall en separat ångspärr finnas på den varma sidan av värmeisoleringen. Ångspärrens avsedda funktion är att hindra skadlig vattenångdiffusion in eller inuti konstruktionen. (Byggbeskrivning C2, 1998).

Undantag för detta kan göras om man med erfarenhet eller provningar kan påvisa att konstruktionen är fukttekniskt funktionssäker. (Byggbeskrivning C2, 1998).

3.2.7 Värmegenomgångskoefficient

Enligt ByggBS D3 (2012), skall värmegenomgångskoefficienterna beräknas enligt byggbestämmelsesamlingens del C4 (2003), eller enligt motsvarande SFS-EN standard. (ByggBS D3, 2012).

Värmegenomgångskoefficienten (U-värdet), $W/(m^2 \cdot K)$ anger tätheten på värmeflödet som passerar genom en byggnadsdel när temperaturskillnaden på ömse sidor är en enhet stor. Desto lägre U-värde konstruktionen har, desto bättre isoleringsförmåga har konstruktionen. (ByggBS C4, 2003).

Genom att beräkna U-värdet för byggnadsdelarna enligt ekvationerna i ByggBS C4 (2003), eller genom andra minst lika noggranna beräkningsmetoder, kan referensvärmeförlusten för en byggnad bestämmas enligt koefficienterna i byggbestämmelsesamlingens del D3 (2012).

Enligt kompensationsprincipen kan U-värdet för en eller flera byggnadsdelar överskridas så länge E-talet för byggnaden är godkänt. Detta innebär i praktiken att lägre U-värden för övriga byggnadsdelar behövs, vilket kompenserar för den totala referensvärmeförlusten.

Referensvärden för enskilda byggnadsdelars värmegenomgångskoefficienter hittas i ByggBS D3 (2012), s. 13.

Tabell 3. Värmegenomgångskoefficienter för varma utrymmen.

Som värmegenomgångskoefficient (U) för byggnadsdelar i varmt, särskilt varmt eller kylt utrymme används följande referensvärden då man beräknar byggnadsmantelns referensvärmeförlust:

vägg	0,17 $W/(m^2 \cdot K)$
stockvägg (stockkonstruktionens medeltjocklek minst 180 mm)	0,40 $W/(m^2 \cdot K)$
vindsbjälklag och bottenbjälklag som gränsar mot det fria	0,09 $W/(m^2 \cdot K)$
bottenbjälklag som gränsar mot kryprum (ventilationshålen utgör högst 8 promille av bottenbjälklagets area)	0,17 $W/(m^2 \cdot K)$
byggnadsdel mot mark	0,16 $W/(m^2 \cdot K)$
fönster, takfönster, dörr, takljuskupol, röklucka och utgångslucka	1,0 $W/(m^2 \cdot K)$

(ByggBS D3, 2012).

3.2.8 Brandsäkerhet

Enligt byggbestämmelsernas föreskrifter gällande brand, skall huvudprojekteraren, byggprojekteraren och specialprojekteraren, i enlighet med sina uppgifter, sörja för projekteringen så att byggnaden, på det sätt som användningsändamålet förutsätter, uppfyller de tekniska kraven som ställts för brandsäkerheten. (ByggBS, 848/2017).

Enligt den brandtekniska klassificeringen av byggnader tillämpas: P0, P1, P2 och P3. Byggnader och deras brandceller klassificeras enligt deras huvudsakliga ändamål. Bland annat hittas tabeller över vilka begränsningar som gäller användningsändamålet. Då detta examensarbete tangerar småhus, med främst 1 våning, tillämpas brandklass P3, (Tabell 4).

Tabell 4. Begränsningar gällande brandklass P3.

Tabell 1 a. Begränsningar som gäller användningsändamålet och storleken för en byggnad i brandklass P3.

Byggnad	Antal våningar högst	Höjd ¹⁾ högst	Våningsyta högst
1 våning, i allmänhet	1	9 m	2 400 m ² (4 800 m ² *)
2 våningar, i allmänhet	2	9 m	1 600 m ² (2 400 m ² *)
Vårdinrättning	1	9 m	2 400 m ²
Produktions- eller lagerbyggnad	1 ²⁾	14 m	ingen begränsning
Torkanläggning för jordbruksprodukter som utgör en separat byggnad	1	18 m	ingen begränsning
Bilgarage	1	9 m	ingen begränsning
Bostadsbyggnad där våningsplan ovanför varandra hör till olika bostadslägenheter	ej tillåten	ej tillåten	ej tillåten

¹⁾ Byggnadshöjden är lika med avståndet från markytan till skärmingslinjen mellan fasadplanet och yttertak (58 § MBF). Vid behov beräknas medelvärde av höjderna i byggnadens hörnpunkter.
²⁾ I fråga om byggnader som huvudsakligen har 1 våning får högst 200 m² sektionerade utrymmen och högst 50 m² icke-sektionerade utrymmen som väsentligen hänför sig till byggnadens funktion placeras på en övre våningsnivå.
 * Byggnaden är försedd med en för ändamålet lämplig automatisk släckningsanläggning.

(ByggBS, 848/2017).

Byggnadens bärförmåga, [R] får inte orsaka fara under en bestämd tid [minuter] från brandens början, (Tabell 5). Fara i den bemärkelsen att byggnaden, eller delar av den, genom ras kan orsaka skada. Om det för personskador eller till hänsyn av skadornas omfattning är nödvändigt, skall byggnaden tillförlitligt bestå hela utbränningen vid brandbelastningen samt avsvälningen, utan att störta samman. (ByggBS, 848/2017).

Tabell 5. Bärande konstruktioners beständighet vid brand.

Byggnad	Begränsningar	Väsentliga bärande konstruktioners beständighet vid brand	Dimensionering-sbrandbelastningens densitet MJ/m ³)
1 våning, i allmänhet	Höjd högst 9 m	30 minuter utan avsvältningsfas	$Q_{fi,k}$
1 våning, i allmänhet	Höjd över 9 m	60 minuter utan avsvältningsfas	$Q_{fi,k}$
1 våning, – inkvarteringsutrymme – vårdinrättning – samlings- och affärsutrymme	Över 50 platser Över 25 platser Över 250 platser	60 minuter utan avsvältningsfas	$Q_{fi,k}$
2 våningar, i allmänhet	Höjd högst 9 m	30 minuter utan avsvältningsfas	$Q_{fi,k}$, minst 600 MJ/m ²
2 våningar, i allmänhet	Höjd över 9 m	60 minuter utan avsvältningsfas	$Q_{fi,k}$, minst 600 MJ/m ²
2 våningar, – inkvarteringsutrymme – vårdinrättning – samlings- och affärsutrymme	Över 50 platser Över 25 platser Över 250 platser	Brand- och avsvältningsfas	$Q_{fi,k}$, minst 600 MJ/m ²
Fler än 2 våningar	Höjd högst 28 m	Brand- och avsvältningsfas	$Q_{fi,k}$, minst 600 MJ/m ²
Fler än 2 våningar	Höjd över 28 m	Brand- och avsvältningsfas	$2,0 \cdot Q_{fi,k}$, minst 900 MJ/m ²

$Q_{fi,k}$ är det karakteristiska värdet för den totala brandbelastningens densitet som fastställts statistiskt eller kalkylmässigt (80 % fraktil).
 Granskningen görs vid en fullständig utvecklad brand. Om det kan påvisas att övertändning inte inträffar, kan mätningen göras vid en lokal brand. Övertändning anses ha inträffat, då det heta röklagrets medeltemperatur uppnår 500 grader Celsius eller när strålningen från röklagret mot golvet är över 20 kilowatt per kvadratmeter.

(ByggBS, 848/2017).

De sektionerande byggnadsdelarna, med dess anordningar och utrustning, skall förhindra spridningen av brand mellan brandceller under en bestämd tid. Byggnadsdelar som helt, eller endast till vissa delar, uppfyller kravet för integritet [E] kan också godkännas som sektionerande byggnadsdel om evakuering av personer inte äventyras, eller branden inte sprider sig till annan brandcell under brandmotståndstiden som krävs. Klasskrav för byggnadsdelar som är ytterligare uppdelade klassificeras EI 15. (ByggBS, 848/2017).

Tabell 6. Klasskrav för sektionerande byggnadsdelar

	En byggnads brandklass, antal våningar och brandbelastningsgrupp MJ/m ²					
	P1			P2 fler än 2 våningar	P21–2 våningar	P3
	över 1 200	600–1 200	under 600	–	–	–
Våningar, i allmänhet	EI 120 ¹⁾ (EI 60 *) ¹⁾	EI 90 ¹⁾ (EI 60 *) ¹⁾	EI 60 ¹⁾	EI 60 ²⁾	EI 30	EI 30
– över 56 m hög byggnad	EI 90, A2 *	EI 60, A2 *	EI 60, A2 *	inte möjligt	inte möjligt	inte möjligt
– övre bjälklag, om krav på sektioneringsförmåga	EI 60	EI 60	EI 60	EI 60 2)	EI 30	EI 30
– produktions- och lagerutrymmen, brandfarlighetsklass 1, arealsektionering	EI-M 90, A1 (EI-M 60, A1*)	EI-M 90, A1 (EI-M 60, A1*)	EI-M 90, A1 (EI-M 60, A1*)	inte möjligt	EI-M 90, A1 (EI-M 60, A1*)	EI-M 90, A1 (EI-M 60, A1*)
– produktions- och lagerutrymmen, brandfarlighetsklass 2, arealsektionering	EI-M 120, A1 (EI-M 60, A1*)	EI-M 120, A1 (EI-M 60, A1*)	EI-M 120, A1 (EI-M 60, A1*)	inte möjligt	EI-M 120, A1 (EI-M 60, A1*)	EI-M 60, A1*
– bilgarage, arealsektionering	EI 60, A2	EI 60, A2	EI 60, A2	inte möjligt	EI 60	EI 30
Vindens sektionerande väggar, arealsektionering	EI 30	EI 30	EI 30	EI 30	EI 30	EI 30
Källarvåningar	EI 120, A2 (EI 90, A2 *)	EI 90, A2 (EI 60, A2 *)	EI 60, A2	EI 60, A2	EI 60, A2	EI 30, A2 ³⁾

¹⁾ Sektionerande byggnadsdelar i utgångar i byggnader med fler än 2 våningar i brandklass P1 ska utföras i byggnadsvaror lägst av klass A2-s1, d0.
²⁾ Obs. kraven i 24 § 3 mom.
³⁾ Klasskravet i en källare som hör till en enda bostad är EI 30.
A1 Byggnadsvaror av klass A1
A2 Byggnadsvaror lägst av klass A2-s1, d0
* När byggnaden eller utrymmet är försedda med en för ändamålet lämplig automatisk släckningsanläggning.

(ByggBS, 848/2017).

För att begränsa brandens utveckling ställs krav på de invändiga ytor som används. Som klassificering av dessa används Euroklass-systemet, som tar i beaktande produkters obrännbarhet, antändlighet, flamspridning, kalorimetriskt värde samt utveckling av rök och brinnande droppar. Utgående från dessa egenskaper, tilldelas produkterna olika klassificering för ytan enligt hur de reagerar, (Figur 2). (Paroc, u.å.).

Tabell 7. Ytskiktskraven för bostäder.

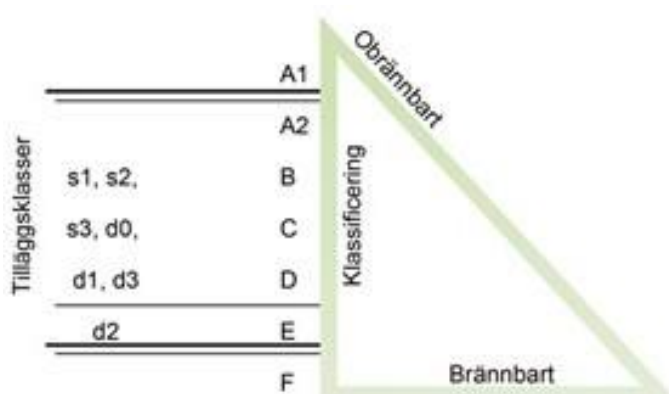
Användningsändamål	Yta	Byggnadens brandklass		
		P1	P2	P3
Bostäder	väggar och tak	D-s2, d2 ¹⁾	D-s2, d2 ⁴⁾	D-s2, d2 ¹⁾

Kraven i tabellen tillämpas även för ytor på rör, ventilationskanaler eller deras isoleringar, om deras mängd inte är ringa. När det gäller rörformade isoleringar ska värdena i tabellen tillämpas så att man till beteckningen för en klass som beskriver väggars och taks medverkan i brand fogar underindexet L. Tilläggsdeklarationerna som avser produktion av rök och brinnande droppar är oförändrade.
¹⁾ Mindre delar av ytorna kan beklädas med byggnadsvaror som inte uppfyller kravet.
²⁾ Mindre delar av väggytorna kan beklädas med byggnadsvara av klass D-s2, d2. Detta gäller även väggar försedda med skyddsbeklädnad.
³⁾ Klasskravet för ytor på byggnadsdelar av mindre omfattning är B-s1, d0.
⁴⁾ Då skyddsbeklädnad krävs, bestäms ytklasskravet enligt klasskravet för byggnadsvaror för skyddsbeklädnad.
⁵⁾ I fråga om separata bilgarage med en yta på högst 1 000 kvadratmeter och bilgarage med en yta på högst 60 kvadratmeter som utgör en del av en byggnad är klasskravet D-s2, d2 med undantag för källarvåningar.
* När utrymmet är försett med en för ändamålet lämplig automatisk släckningsanläggning.
– inget krav

(ByggBS, 848/2017).

- **R** = Bärförmåga
 - Tiden byggnadsdelen förmår bära aktuell last vid en standardbrand
- **E** = Integritet
 - Tiden byggnadsdelen behåller tätheten mot flammor eller rökgaser
- **I** = Isolering
 - Tiden att uppnå en medeltemperaturökning på 140 °C på den kalla sidan

(Paroc, u.å.).



Figur 2. Euroklass-systemet. (Paroc, u.å.).

- A1 = Obrännbart. Högsta kravnivån, kan inte kombineras med tilläggsklass
- A2 = Obrännbart. Tilläggsklasser (A2-D) för rökutveckling samt brinnande droppar
- E = Endast tilläggsklass d2
- F = Inte dokumenterad, uppfyller inte kriteriet för klassificering, går ej att kombinera

(Paroc, u.å.).

Tabell 8. Euroklasser och material.

Förklaring

A1	Varor som inte alls medverkar till brand.	s1	Ytterst ringa rökproduktion.
A2	Varor vilkas medverkan till brand är ytterst begränsad.	s2	Ringa rökproduktion.
B	Varor vilkas medverkan till brand är mycket begränsad.	s3	Rökproduktionen uppfyller varken kraven på s1 eller s2.
C	Varor som i begränsad utsträckning medverkar till brand.	d0	Brinnande droppar eller partiklar förekommer inte.
D	Varor vilkas medverkan till brand kan godkännas.	d1	Brinnande droppar eller partiklar slocknar snabbt.
E	Varor vilkas prestanda i brand kan godkännas.	d2	Produktionen av brinnande droppar eller partiklar uppfyller varken kraven på d0 eller d1.
F	Varor vilkas prestanda inte har fastställts.		

(ByggBS E1, 2011).

4 Fukt i byggnader

Alla porösa material innehåller en viss fukthalt, men varje ökning av denna bör motverkas för att motverka konsekvenser såsom försämrade värmeisoleringsförmåga och fuktskador.

Vid högre fukthalter uppkommer även skaderisker då materialens beständighet försämras. Några exempel på fuktrelaterade byggnadsskador är:

- Ruttnande träprodukter
- Svällskador – sprickskador
- Mögel på organiska material (trä, gips, målarfärg, tapeter)
- Golvmattor, färg, tapeter lossnar
- Utvändiga material fryser sönder (betong, tegel, puts)
- Metaller rostar

De vanligaste fuktkällorna är:

- Fukt i utomhusluften (regn)
- Fukt i inomhusluft (tvätt, dusch, matlagning, avdunstning från personer)
- Markfukt
- Byggfukt
- Läckage

(Burström 2006, s. 52–53).

4.1 Fuktmekanik

Två olika klimat beaktas när man talar om fuktmekanik, utomhus- och inomhusklimat. Skillnaden mellan dessa klimat är i form av temperatur och luftfuktighet, ute och inne.

Fukt som tillförs materialen i samband med byggnation kallas byggfukt och måste torkas ut. I den omkringliggande luften finns vatten i form av vattenånga, denna tillförs under brukstiden av bl.a. människor, största delen av människans utandning. Utöver detta tillförs fukt även av tvätt, disk, dusch och matlagning. Vatten i ångfas benämns ånghalt, v [g/m^3].

Mättnadsånghalt, v_s [g/m^3] kallas det då luften inte förmår lagra mer fukt utan att kondens fälls ut. Denna är temperaturberoende, vilket innebär att varmare luft kan hålla mer vattenånga innan den kondenserar till vatten. Sambandet mellan dessa benämns RH [%].

(Forskning och utveckling [FoU] 2016, Burström 2006, s. 53–55).

Den relativa fukthalten, RF [%] (RH - Relative Humidity) anger mängden fukt i förhållande till den maximala mängden fukt som kan finnas i luften vid rådande temperatur. Denna varierar alltså mellan 0–100 %, vilket innebär att fukten i luften kondenserar vid 100 %. Den absoluta fuktmängden, AF [g/m^3] (AH - Absolute Humidity) anger faktiska mängden fukt i luften, oberoende av temperatur och anges i g/m^3 . (Petersson 2013, s. 84–86).

Då den absoluta fuktmängden är lika stor som mättnadsånghalten, den största mängden fukt som kan finnas i luften beroende på temperatur, kommer en del av vattenången kondensera till vätskeform eller dimma. Dvs. den nivå där luften inte längre kan bära alla vattenmolekyler utan att kondensera. Desto högre temperatur luften har desto mer vattenånga i g/m^3 luft kan den bära, se bilaga 1. (Petersson 2013, s. 84–86, 510).

Vid normala förhållanden är vanligtvis inomhustemperaturen i en byggnad högre än utomhustemperaturen, den relativa fukthalten inomhus är också något lägre än utomhus. Som ett exempel kan ges en byggnad med inomhustemperatur 20 °C, 50 % RH, innehållande 8,6 g/m^3 vattenånga och utomhustemperaturen 0 °C, 65 % RH, med 3,15 g/m^3 vattenånga. Detta leder till att vattenången vandrar till området med lägre ånghalt (g/m^3) dvs. utåt genom diffusion, vilket kan orsaka kondensproblem beroende på var och om detta inträffar. (FoU, 2016).

De vanligaste förekommande formerna av fukttransport inom byggnadsbranschen är:

- Diffusion = Vattenånga rör sig från områden med högre ånghalt till lägre.
 - Vattenmolekylerna letar sig till sidan med färre vattenmolekyler vilket inträffar vid skillnader i ånghalt mellan utrymmen, vanligtvis från insidan till utsidan.
 - Storleken på detta flöde beror på ångpermeabiliteten eller diffusionsmotståndet, dvs. hur tätt materialskiktet är. Denna typ av fukttransport kan beräknas för att bedöma fuktillståndet i de olika byggnadsdelarna.
- Konvektion = Vattenånga rör sig med strömmande luft, från högre till lägre lufttryck.
 - Luftströmningar orsakas av skillnader i lufttryck och otätheter i konstruktionen. Detta kan förorsaka fuktskador i konstruktionen om varm fuktig luft kommer i kontakt med den kalla delen av konstruktionen, där den kan kondensera till vätska.
- Kapillärsugning = Då vatten/fukt transporteras i vätskefas där drivkraften är fukthalten och fukt förflyttar sig från områden med hög fukthalt till områden med lägre fukthalt.
 - Avgörande är materialets kapillaritet som beror på materialets porer, de material som inte har denna egenskap kallas för kapillärbrytande.

(Petersson 2013, s. 312).

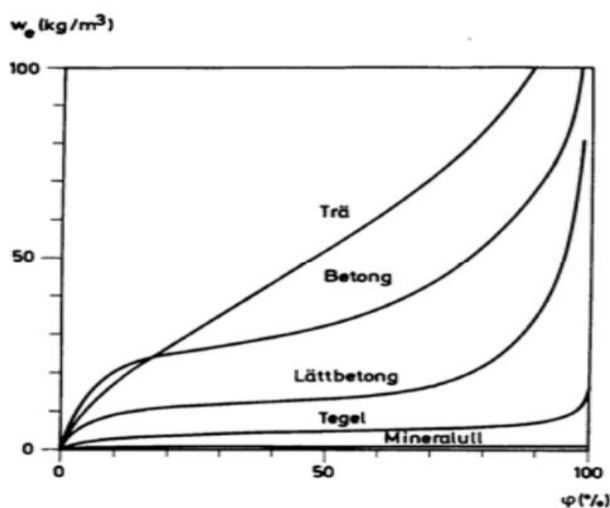
4.1.1 Fukttillstånd

Fukttillstånd är ett samlat begrepp för att beskriva hur fuktigt en yta eller ett material är. Detta kan beskrivas som fukthalt $[w, \phi]$, fuktkvot $[u, \phi]$ eller relativ fuktighet, RF/RH [%]. Kritiska fukttillstånd varierar för olika material, men benämns på samma sätt och beskriver gränsen för när egenskaperna börjar förändras eller har förändrats så mycket att det inte längre har kvar dess avsedda egenskaper eller riskerar gro mögeltillväxt, på grund av fukt. (Strandberg 2015, s. 15).

Fuktkvoten beskrivs i viktprocent som kvoten av vattnets massa i det fuktiga materialet och massan av det uttorkade materialet. Denna bestäms genom torrviktsmetoden, ISO 3130, genom att materialet först vägs i fuktigt tillstånd varefter provet torkas till konstant jämnvikt i 103 °C. Därefter kan avgiven fukt beräknas genom att väga det torkade materialets vikt. På byggarbetsplatser och ställen där fuktkvoten behöver bestämmas, kan man istället med mindre noggrannhet mäta det elektriska motståndet materialet har. Detta med en fuktmätare som översätter resistansen till fuktkvot [%] och korregerar för temperatur och träslag. (Strandberg 2015, s. 31).

Fukthalt är istället beskrivet som kg/m^3 då det anger kvoten av vattnets massa i fuktigt material och materialets totala volym. Fukthalten $[w, \phi]$ kan beräknas genom att multiplicera fuktkvoten $[u, \phi]$ med materialets densitet $[\text{kg/m}^3]$. (Petersson 2013, s. 309).

Materialens fukttinhåll hänger ihop med omgivningens relativa ånghalt [% RH] då ett material alltid strävar efter att vara i jämnvikt med det omgivande klimatets relativa ånghalt. Ökar omgivningens relativa ånghalt fuktas materialen upp till en högre fukthalt och det motsatta gäller om omgivningens relativa ånghalt minskar, dvs. materialet avger istället fukt. Sambandet mellan dessa beskrivs med sorptionskurvor, vilka är olika för varje material. (Petersson 2013, s. 309).



Figur 3. Sorptionskurvor hos olika material (Burstrom, 2006).

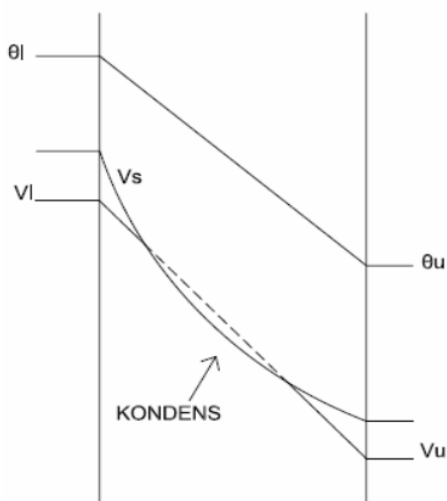
4.1.2 Fukttransport

Ångtransporten i konstruktioner kan beräknas under stationära förhållanden då ånghalterna på bägge sidor är kända. För att bättre kunna analysera de teoretiska ånghalterna med mätnadsånghalterna vid respektive temperatur, krävs det att man även känner till temperaturfördelningen genom konstruktionen. (Burström 2006, s. 83).

Bland annat kan fukttransportberäkningen påvisa om den teoretiska ånghalten i konstruktionen överstiger mätnadsånghalten. Vilket innebär att luften inte längre förmår bära fukten som då kondenserar och kan orsaka problem om den inte ventileras bort. (Burström 2006, s. 83).

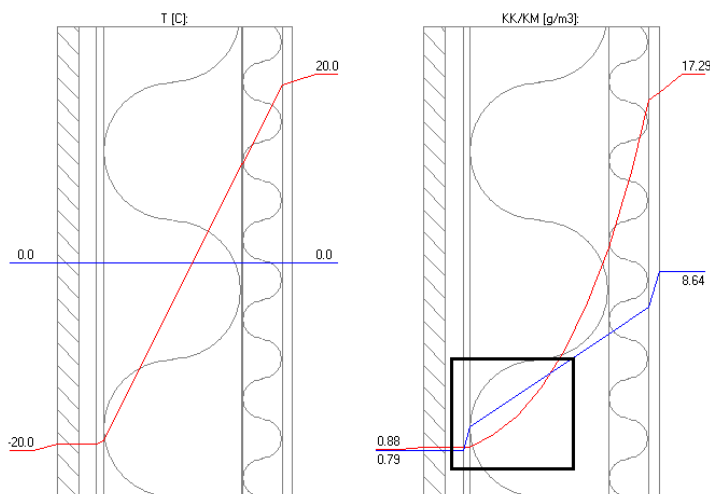
Ånghaltsfördelningen genom en vägg kan beräknas under stationära förhållanden, då ånghalterna på bägge sidor är kända. Om även temperaturfördelningen i väggen är beräknad, kan man jämföra de teoretiska ånghalterna [v] med mätnadsånghalterna [v_s]. Om den teoretiska ånghalten överstiger mätnadsånghalten uppstår kondens, vilket kan leda till skador i konstruktionen. I allmänhet skall konstruktioner planeras så att kondens inte kan uppstå, dvs. $v < v_s$ genom hela konstruktionen, (Figur 4). (Burström 2006, s. 83).

På marknaden finns ett antal fuktmekaniska program för stationära och dynamiska förhållanden. Programmet DOF-Lämpö av D.O.F. tech Oy, som allmänt används i Finland, utgår ifrån stationära förhållanden och används för beräkningarna i detta examensarbete. För dynamiska förhållanden används bland annat programmet WUFI, utvecklat vid Fraunhofer Institut für Bauphysik. Programmet kräver försiktighet vid inmatning av data och vid tolkning av resultaten, vilket har lett till att främst forskare använder detta. (WUFI, 2018).



Figur 4. Uppkomsten av kondens p.g.a. fukttransport genom en konstruktion. (Burström, 2006).

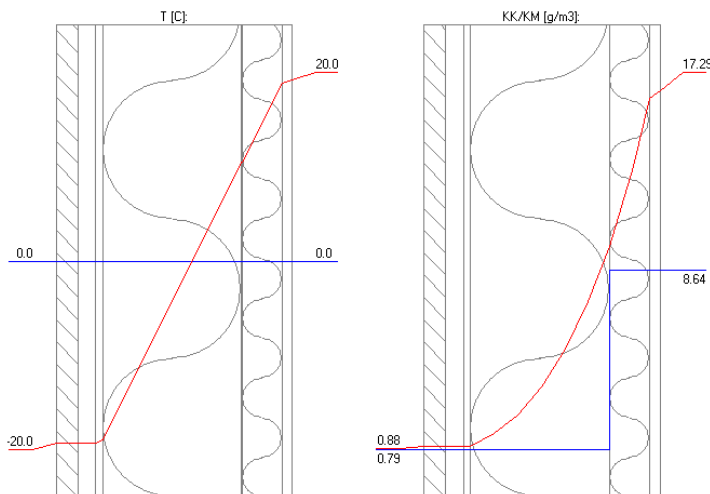
Nedan anges några exempel på hur fukttransporten kan se ut genom en yttervägg, som beräkningsprogram har använts D.O.F. tech Oy:s program DOF-Lämpö version 2.2.



Figur 5. Beräkningsexempel 1, DOF-Lämpö. (D.O.F. tech Oy, 2018).

Ovanstående konstruktion ger upphov till att den teoretiska ånghalten [v] överstiger mättnadsånghalten [vs] vid markerat område. Detta på grund av att en ångspärr fattas i konstruktionen. I detta fall leder det till att kondens uppstår innanför vindskyddet i mineralullen, vilket kan orsaka skador på omkringliggande material, om inte uttorkning sker.

Beräknat enligt extrem situation: 168 h, -20°C utomhus, 90% RH. $+20^{\circ}\text{C}$ inomhus, 50% RH.



Figur 6. Beräkningsexempel 2, DOF-Lämpö. (D.O.F. tech Oy, 2018).

Denna konstruktion, samma som ovanstående men med ångspärr, kan anses godtagbar i avseende på fukttransport genom väggen, då ingen kondens fälls ut i konstruktionen. Detta påvisar att konstruktionen behöver en ångspärr för att eventuell kondensation skall undvikas.

Beräknad enligt extrem situation: 168 h, -20°C utomhus, 90% RH. $+20^{\circ}\text{C}$ inomhus, 50% RH.

4.1.3 Teori

För att kunna utföra beräkningarna i DOF-Lämpö behövs förutom de olika skiktens värmeledningsförmåga, även deras genomtränglighet för vattenånga. Denna kan anges i olika enheter, t.ex. anges i VTT:s principlösningar för fukttekniskt funktionsdugliga renoveringar, diffusionsmotståndsfaktorn μ . Denna anger hur många gånger tätare än luft ett material är. (VTT, 2013).

Tabell 9. Exempel på materialegenskaper för beräkning i DOF-Lämpö.

Materiaalikerros	Lämmönjohtavuus kuivalle materiaalille W/Km	Vesihöyryn diffuusiiovastus- kerroin kuivassa tilassa μ [-]
Betoni, vanha ja uusi	1,7	180
Mineraalivilla, vanha	0,040	3,4
Mineraalivilla, uusi	0,035	1,3
EPS, vanha	0,040	50
EPS, uusi	0,035	50
Sahanpuru	0,055	8, f(RH)
Tuulensuojavilla	0,040	3
Puu	0,12	200–10, f(RH)
Kipsituulensuojalevy	0,21	8,3
Tiilimuuraus	0,60	10

(VTT, 2013).

För att kunna tolka olika enheter, krävs det att man har tillgång till omvandlingsfaktorer för diffusionsberäkningar och jämförelse av materialegenskaper. Tabell 10 finns sammanställd av Jukka Huttunen i *Rakennusfysiikkaohjelmat rakenteiden toiminnan analysoinnissa*. (Huttunen, u.å.).

Tabell 10. Omvandlingsfaktorer för diffusionsberäkning.

$Z = \frac{d}{\delta}$ $W = \frac{1}{Z} = \frac{\delta}{d}$ $\mu = \frac{\delta_a}{\delta} \approx \frac{1,94 \cdot 10^{-10}}{\delta_p} = \frac{2,62 \cdot 10^{-5}}{\delta_v}$ $s_d = \mu \cdot d = \delta_a \cdot Z$ $\delta_v = \frac{1}{461,4 \cdot (273,15 + \theta)} \cdot \delta_p$		<p style="text-align: center;">Kaavoja</p> $\Delta v = ((\varphi_s - \varphi_a) / 100) v_k \quad [\text{kg/m}^3]$ $W_v(\Delta v) = \partial g / \partial (\Delta v) \quad [\text{m/s}]$ $Z_v = 1 / W_v \quad [\text{s/m}]$ $\delta_v = W_v \cdot d \quad [\text{m}^2/\text{s}]$ $W_p = W_v / (R / M_v) (273,15 + t) \quad [\text{kg/m}^2\text{sPa}]$ $Z_p = 1 / W_p \quad [\text{m}^2\text{sPa/kg}]$ $\delta_p = \delta_v / (R / M_v) (273,15 + t) \quad [\text{kg/msPa}]$ $\mu = \delta_{p, \text{ ilma}} / \delta_p \quad [-]$ $\delta_{p, \text{ ilma}} = n \cdot 188 \times 10^{-12} \quad [\text{kg/msPa}]$ $R = 8314,3 \quad [\text{J/kmolK}]$ $M_v = 18,02 \quad [\text{kg/kmol}]$	
---	--	---	--

Vanndampmotstånd, Z	
x m ² sPa/kg	= x · 7,407 · 10 ⁻⁶ s/m
x s/m	= x · 1,35 · 10 ⁵ m ² sPa/kg
x m ² hPa/g	= x · 3,6 · 10 ⁶ m ² sPa/kg
x m ² hmmHg/g	= x · 4,799 · 10 ⁹ m ² sPa/kg
x m ² hmmH ₂ O/g	= x · 3,532 · 10 ⁷ m ² sPa/kg
x PAM	= x · 4,799 · 10 ⁹ m ² sPa/kg
x MNs/g	= x · 10 ⁹ m ² sPa/kg
x ft ² ·h·inHg/grain	= x · 1,75 · 10 ¹⁰ m ² sPa/kg
x GPasm ² /kg	= x · 10 ⁶ m ² sPa/kg

(Huttunen, u.å.).

Diffusionsmotståndet visar ångpermeabiliteten hos ett material, dvs. hur många gånger svårare vattenånga kan ta sig igenom materialet jämfört med luften. Alla material har skillnader i genomsläpplighet på grund av diffusion. Dessa motstånd kan mätas på olika sätt:

- Ångpermeabilitet, δ mäter materialets genomsläpplighet av vattenånga orsakad av skillnader i ånghalt, v eller partialtryck, p .
- Ånggenomgångsmotstånd, Z mäter ett skikts motstånd mot transport av vattenånga orsakad av skillnader i ånghalt eller partialtryck.
- Täthet, S_d -värde anger ekvivalent tjocklek för motsvarande lager stillastående luft.
- Diffusionsmotståndsfaktor, μ anger kvoten mellan luften och materialets ångpermeabilitet orsakad av skillnader i partialtryck.

(Eriksson, 2017).

Sambanden mellan dessa beskrivs i tabell 10:

$$Z = \frac{d}{\delta} \quad s_d = \mu \cdot d \quad S_d = \delta_{\text{luft}} \cdot Z_{\text{material}} \quad \mu = \frac{\delta_{\text{p.luft}}}{\delta_{\text{p.material}}} \quad \delta_{\text{p.material}} = \frac{\delta_{\text{p.luft}}}{\mu}$$

I detta examensarbete tillämpas konstanter enligt tabell 10. $\delta_{\text{p,luft}} = 188 \cdot 10^{-12} \text{ kg/msPa}$. Stillastående lufts ångpermeabilitet $\delta_{\text{p,luft}}$ kan också beräknas enligt rådande temperatur och lufttryck enligt nedanstående formel (Künzel 1995, s. 15).

$$\delta_{\text{p,luft}} = \frac{2.0 \cdot 10^{-7} \cdot T_k^{0.81}}{\rho_{\text{luft}}}$$

$\delta_{\text{p,luft}}$	= Stillastående lufts ångpermeabilitet	[kg/msPa]
T_k	= Temperatur, Kelvin. $0^\circ\text{C} = 273.1500\text{K}$	[K]
P_{luft}	= Rådande lufttryck. $1013,25 \text{ hPa} = 101\,325 \text{ Pa}$	[Pa]
Z_p	= Ånggenomgångsmotstånd. Vid skillnader i partialtryck	[m ² sPa/kg]
Z_v	= Ånggenomgångsmotstånd. Vid skillnader i ånghalt	[s/m]
d	= Materialets tjocklek	[m]
S_d	= Genomgångsmotstånd, täthet	[m]
μ	= Diffusionsmotståndsfaktor	[-]
δ_p	= Ånggenomsläpplighet. Vid skillnader i partialtryck	[kg/msPa]
δ_v	= Ånggenomsläpplighet. Vid skillnader i ånghalt	[m ² /s]

4.2 Fuktskador

Den vanligaste orsaken till skador i byggnader är fukt. För att på förhand kunna analysera konstruktioner kan man beräkna fuktbelastningen, dvs. fukttinnehållet i konstruktionen. Detta görs med hjälp utav ekvationer eller med beräkningsprogram, t.ex. DOF-Lämpö. Även fuktmätningar genomförs för befintliga byggnader med ytfuktmätare eller borrhålsmätning. (Burström 2006, s. 81).

För att kunna bedöma fuktbelastningen måste man utgå ifrån kriterier som kan accepteras. De kritiska fukttillstånden anger hur högt fukttinnehållet får vara innan skador uppkommer. Som ett exempel ges nedanstående tabell, vilken beaktar den relativa fukthalten i omkringliggande luft eller i materialets sporer. Tabellen beaktar således inte temperaturen, vilken de kritiska fukttillstånden också påverkas av. (Burström 2006, s. 81).

Tabell 11. Exempel på kritiska fukttillstånd.

Material, orsak	RF[%]		
	Ingen risk	Måttlig risk	Stor risk
Trä, rötangrepp (1)	< 75	75 - 95	>95
Trä, mögelangrepp	< 70	70 - 85	>85
Oskyddat stål, rost	< 60	70	
Lim för plastmattor, nedbrytning		90	
(1) Äkta hussvamp			

(Burström, 2006).

Detta innebär bland annat att risken för mögelangrepp ökar i och med högre temperatur. Bland annat är fukttillståndet i ytterväggar vintertid tämligen ofarligt på grund av den låga temperaturen. Men istället är det vid samma kritiska fukttillstånd på sommaren risk för mögelangrepp, på grund av att luften då innehåller mer fukt g/m^3 och mikrober trivs bättre. Tabellen beaktar ej heller materialets exponering till fuktnivån. Risken för att material blir angripet ökar även desto längre exponeringstid materialet utsätts för. (Burström 2006, s. 81).

Alla material innehåller en del fukt, det är då fuktbelastningen överskrider det kritiska fukttillståndet fuktskador uppstår. Tillståndet varierar för olika material och är beroende av den relativa fukthalten och rådande temperatur. Att material är fuktiga är inte det samma som att materialet är skadat, utan material kan torka. Det är däremot då material varit fuktiga en längre tid, skador kan uppkomma. Bland annat träbaserade material kan vara känsliga för återkommande uppfuktning och mögelangrepp kan då förekomma. (Johansson, 2003).

4.2.1 Mögelindex

För att lättare kunna bedöma när risken för tillväxt av mögel är som störst, har Tammerfors tekniska universitet [TTY] i samarbete med Teknologiska forskningscentralen i Finland [VTT] utvecklat en modell för bedömningen av mögelrisken vid ändrade temperaturer och fuktförhållanden. Den finländska mögeltillväxtmodellen baserar sig på den ursprungliga modellen för tillväxt av mögel på träprodukter, utvecklad av VTT och fil.dr. Hannu Viitanen. (TTY, 2017).

Den finländska modellen för tillväxt av mögel kan användas för att bedöma mögelrisken på en yta av materialprover eller inuti byggnadsdelar vid olika temperaturer och relativ fuktighet. Mögelrisken är beskrivet som mögelindex, M och beräknas utgående från timvisa temperaturer och fuktförhållanden. Modellen tar också hänsyn till reducering av mögel vid ogynnsamma förhållanden för mögelpåväxt, då indexvärdet minskas i och med detta. Mögelindexet tar inte i beaktande olika slag av mögel inuti materialen, utan endast tillväxten av mögel på materialens ytor. Således beaktar denna modell inte hälsoaspekter av mögel. (TTY, 2017).

Mögelindex är alltså en riskskala som beaktar hur stor risk det finns att mögel bildas på ytan vid en viss temperatur, fuktighet och tid. En relativ fuktighet på >75 % RH brukar allmänt anses som en initial risk för mikrobiell tillväxt, dock lämnas vanligtvis en viktig del från påståendet bort, nämligen rådande temperatur och dess inverkan på tillväxten av mikrober.

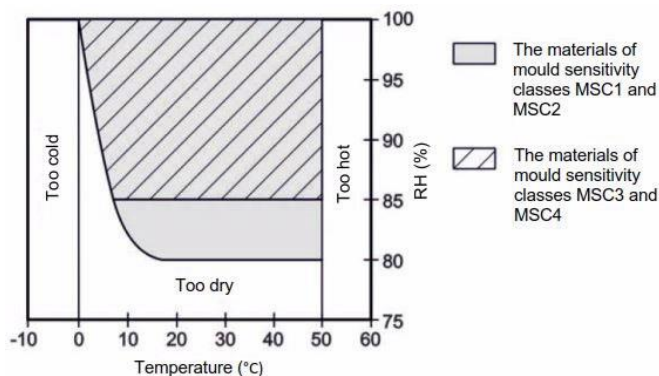
I mögelindexmodellen, som finns att hämtas på TTY:s hemsida, fyller man i de timvisa tiderna, temperaturerna och relativa fukthalterna. Samt vilken typ av känslighet och reduceringsfaktor för mögel materialet har. Därefter visar programmet resultatet, mögelindex i en graf. Klassificeringen för mögelindexet är indelat i 6 delar, enligt tabell 12.

Tabell 12. Mögelindex skala.

Mould index M	Found mould growth	Notes
0	No growth	Clean surface
1	Growth seen by microscope	Growth is beginning in couple of places
2	Clear growth seen by microscope	Mould growth is covering 10 % of area studied (microscope). The growth is in many places in the area.
3	Growth seen by eyes Clear growth seen by microscope	Growth is covering less than 10 % of area studied (eyes) Growth is covering less than 50 % of area studied (microscope) New growth areas are starting to form
4	Clear growth seen by eyes Rich growth seen by microscope	Growth is covering more than 10 % of area studied (eyes) Growth is covering more than 50 % of area studied (microscope)
5	Rich growth seen by eyes	Growth is covering more than 50 % of area studied (eyes)
6	Very rich growth	Growth is covering almost 100 % of area studied, dense mould growth

(TTY, 2017).

Förenklat kan mikrobiell tillväxt ses som en tabell över gynnsamma förhållanden. Vilket beror på temperaturen °C, luftfuktigheten % RH och materialets motståndskraft mot mögel. Nedan visas de olika delarna som ingår i beräkningen utav mögelindex, samt exempel på utförd beräkning i det finländska Excel-baserade programmet för mögelindex. Resultatet skall sen jämföras mot föregående index-tabell, (Tabell 12) för att bedöma risken för mögel.



Figur 7. Gynnsamma förhållanden för mögel. (TTY, 2017).

Tabell 13. Materialens reduceringsfaktor mot mögel.

Mould sensitivity class	Mould decline class
HHL1	HTL2 Strong decline
HHL2	HTL3 Significant decline
HHL3	HTL4 Relatively low decline
HHL4	HTL4 Almost no decline

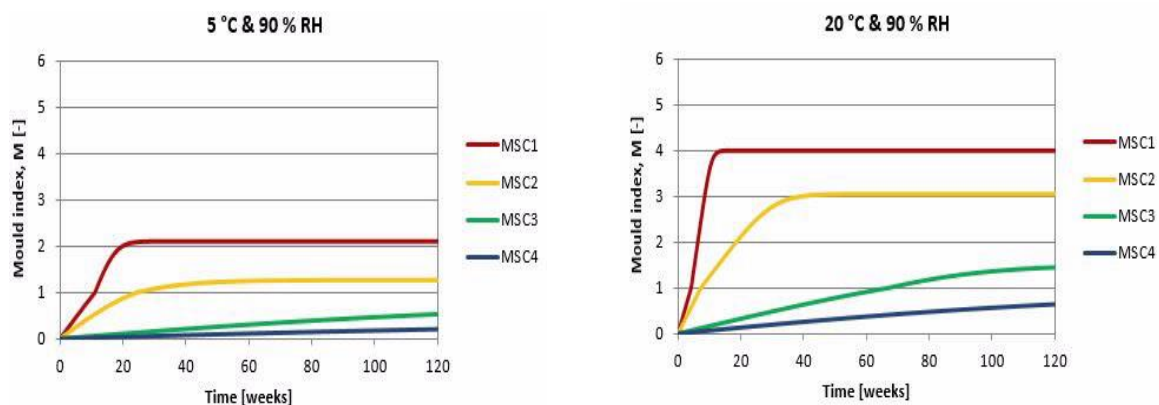
(TTY, 2017).

Tabell 14. Materialens motståndskraft mot mögel.

Mould sensitivity class		Building materials
MSC1	Very sensitive	Sawn and rough planed (dimensioned) pine and spruce, planed pine
MSC2	Sensitive	Planed spruce, paper-base products and films, wood-based boards, gypsum board, plywood, porous fibre boards with coating
MSC3	Medium resistant	Mineral wools, cement or plastic based materials, autoclaved aerated concrete*, carbonated old concrete, brick
MSC4	Resistant	Alcaline new concrete, class and metal, products containing mould-preventive additives

* Autoclaved aerated concrete (AAC) is belonging two different mould sensitivity classes. AAC's mould sensitivity class is MSC2 but mould maximum class is MSC3.

(TTY, 2017).



Figur 8. Exempel på mögelindex vid 5 °C & 20 °C. (TTY, 2017).

4.2.2 Bakgrund

”Det var bättre förr brukar man säga om byggnader, material och byggnadssätt, då fanns det ingen plastfolie, då var husen inte så täta, då hade vi inga sjuka hus”. (Samuelson 2002, s. 13).

Konstruktioner har genom de senaste årtiondena genomgått stora förändringar i form av ökad värmeisolering, lufttäta och ångtäta konstruktioner samt andra värmekällor och ventilation. Detta har i sin tur medfört både positiva och negativa egenskaper hos konstruktionerna. Bland annat har de blivit mer känsliga för fukt då fler tätare skikt riskerar att torka långsamt. Därför skall konstruktioner och byggnadsdelar också skyddas från att utsättas för denna onödiga fuktpåfrestning under byggskedet och även senare under livscykeln. (Samuelson 2002, s. 14).

Orsaken till förändring är bland annat strävan efter god komfort och samtidigt energisnåla byggnader. Detta har lett till en ökad värmeisolering, vilket kan medföra en del problem. Bland annat är uteluftsventilerade vindar någonting som hamnar i riskzonen då de vintertid har ungefär samma kalla klimat som uteluften med hög relativ fukthalt. Äldre hus med mindre isolering och varma skorstenar har inte lika känsliga vindsutrymmen då temperaturen där hålls något högre. Detta eftersom den relativa fukthalten sjunker och mätnadsånghalten ökar. (Samuelsson 2002, s. 14).

Även det minsta läckage av fuktig luft till vinden vintertid kan leda till kondens på undertaket då mätnadsånghalten i kall luft snabbt uppnås. Detta kan ej avhjälpas med ökad ventilation, utan kräver en utredning om fukttillförseln är orsakad av inomhusluften genom konvektion eller läckage utifrån. Även en temperaturökning kunde hjälpa till. (Samuelson 2002, s. 15).

Energihushållningen, orsakad av den egna ekonomin och samhällets krav, har lett till att många hushåll gjort förändringar i konstruktionerna. Tilläggsisolering i väggar och tak, bättre och tätare fönster, andra uppvärmningssystem, med mera. Detta leder allt som oftast till en sämre inomhusmiljö då ventilationen glöms bort eller förkastas och felaktiga konstruktioner byggs, vilket kan leda till fuktskador, elak lukt och mögel. (Samuelson 2002, s. 18–19).

Med dagens material och byggnadsmaterial har vi goda förutsättningar till att undvika fuktskador och felaktiga konstruktioner. Vi kan bygga byggnader med avancerade lösningar som fungerar i vårt klimat och innehar ett gott inomhusklimat samtidigt som de är energisnåla. Det är inte dessa byggnader det talas om när ”det var bättre förr”, det är de byggnader som trots alla dagens goda förutsättningar inte blir så bra som de borde. (Samuelson 2002, s. 19).

Tabell 15. Förändrade förhållanden och vad de medfört.

	Förr	Nu	Konsekvenser
Uppvärmning	Öppen eld, spis, värmepanna, de flesta hus hade skorsten. Ofta intermittent eldning, varmt på dagen, kallt framåt morgonen	Centralvärme som ger samma innetemperatur dygnet runt, året runt	+God termisk komfort. -Annan lufttrycksfördelning, sämre frånluftsflöde, risk för skador på grund av konvektion
Ventilation	Självdraft med utsug genom skorsten eller genom varma ventilationskanaler-energislösande och risk för drag	Självdraft - risk för otillräckligt flöde	-Självdraften fungerar sämre nu, dvs risk för dålig luftkvalitet och för fuktskador
		Frånluftsfläkt - styrt flöde	Bättre än självdraft men risk för drag och buller
		Från- och tilluft	Styrt luftombyte-jämnare flöde och bättre luftkvalitet? Buller?
		Från- och tilluft med värmeväxling	Återvinning-bättre energihushållning. Buller?
Tak	Kalla tak - måttlig isolergrad, varm skorsten, ventilation för att slippa istappar	Ventilerade välisolerade tak, kalla underlagstak t ex plywood	Risk för konvektionsskador och risk för påväxt p g a hög fuktighet i uteluften
	Varma tak - måttlig isolergrad, ingen ventilation	Oventilerade tak, väl isolerade	Säkrare? Risk för skador om flera täta skikt
Vägg	Homogena väggar med trä, sten eller murverk - måttligt värmeisolerade	Flerskiktskonstruktioner med tjock isolering mellan regler, skivor och täta skikt både här och där	Stor risk att göra fel och felen kan få stora konsekvenser då fukt kan stängas inne och det uttorkade värmeflödet är begränsat
Grund	Källare	Källare	OK om den utförs med utvändigt värmeisolering. Annars risk för fukt och mögel
		Platta på mark	Rätt utförd OK
	Torpargrund	Uteluftsventilerad kryppgrund	Helt andra fuktförhållanden än i torpargrunden
Material	Trä - ofta utvalt virke Betong Tegel Lättbetong	Samma material idag som förr men dessutom många polymera material: lim, folie, tätningsmassa, spackel mm	Fel materialanvändning kan ge bekymmer, det gäller dagens material och gårdagens. Allt var inte bättre förr.
Färger, puts	"Giftiga"	"Miljövänliga"	Risk för påväxt av mikroorganismer
Brukarkrav	Måttliga	Stora krav, högre standard	Människor reagerar på sådant som man förr accepterade, det gäller luftkvalitet, termisk komfort mm
Beständighet	Relativt robusta material	Relativt robusta material, men vissa kombinationer kan vara olyckliga	Fuktskador, t.ex. i konstruktioner med fuktig betong
Layout	Trångbott, stor persontäthet Högt i tak, luftigt Ljusa rum	Större volym per person, lägre takhöjder, mindre fönster dvs mindre dagsljus	Lika energislösande som förr räknat per boende? "Sämlare" ljusmiljö? - åtminstone i 70-talshusen
Buller	Dålig ljudisolering inne-ute, mellan lägenheter och rum Dålig stegljudsdämpning	Konstruktionerna är i de flesta avseenden bättre än förr	
	Tyst ventilation, få hushållsapparater	Bullrande installationer	Omfattande klagomål framför allt på internt buller
Väder		Surare	Risk för nedbrytning av fasadmateriäl
Byggprocessen	En byggmästare, ofta boende på platsen	Småhus produceras på fabrik Industriell produktion	Risk för mindre personligt engagemang av den som bygger
Energihushållning	Ibland energislösande byggnader	Energisnåla, väl isolerade och täta hus	Risk för alltför låg luftväxling med dåligt inneklimat
Innemiljö	Dragigt, dålig termisk komfort, fuktigt och mögligt	God termisk komfort, nästan inga synliga fuktskador Buller Ändå många "sjuka hus"	
Byggteknik	Hantverk, väl beprövade material och konstruktioner	Industriellt byggande, gärna nya material och lösningar om de är billigare	Risk för skador t ex -flytspackel -lossnande golvmattor

(Samuelsson, 2002).

4.3 Kvalitetssäkring

Som fuktsäkringsmetod används i Sverige ”ByggaF-metoden” utgiven av Fuktcentrum vid Lunds tekniska högskola, Sverige. Denna metod för att fuktsäkra byggprocessen utgår ifrån att säkerställa, dokumentera och kommunicera fuktsäkerheten under hela byggprocessen. Metoden baserar sig på rutiner och hjälpmedel för alla inblandade. (Fuktcentrum, 2015).

Nu har även i Finland utvecklats ett verktyg för fuktsäkert byggande, kallat Kuivaketju10. Metoden liknar ByggaF och baserar sig på att man från början till slut, följer med och dokumenterar byggprocessen ur ett fuktsäkerhetsperspektiv. Redan från planeringsskedet och genom hela byggprocessen så att riskerna kan bedömas under det att arbetet pågår. Dokumentationen tillför även att de inblandade är noggrannare då alla skeden kan granskas. (Mattfolk, 2017).

Denna fuktsäkringsmodell baserar sig på expertis från Rakennustieto [RT], Rakentamisen Laatu [RALA], Rakennusliito [RAKLI], Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto [SKOL] och Miljöministeriet. Bakgrunden till modellen är den växande fuktproblematiken och syftet är att motverka problemen med fukt- och mögelskadade byggnader. Modellen är också ett svar på riksdagens skrivelse från 2012 där det framkom att någonting måste göras åt den växande fuktproblematiken vid offentliga byggnader. (Kaski, 2017).

Kuivaketju10 är uppbyggd som en länk där beställare, planerare, entreprenörer och användare alla är delaktiga. Modellen baserar sig på en risklista och dess förverkligandedirektiv, vilken innehåller tio stora väsentliga risker som förekommer. Dessa täcker 20 % av de största riskerna för fuktskador vilket gör att man kan gallra bort över 80 % av följdkostnaderna som kan uppstå i samband med fuktskador och dess saneringar. (Kaski, 2017).

Tabell 16. De tio riskerna Kuivaketju10 baserar sig på.

1.	Rakennuksen ulkopuolelta tuleva kosteus vaurioittaa perustuksia ja lattiarakenteita.	6.	Vesiputkien rikkoutumiset aiheuttavat kiinteistöön laajoja vesivahinkoja.
2.	Sadevesi pääsee tunkeutumaan ulkoseinärakenteen sisälle.	7.	Huonosti toteutetussa märkätilassa kosteus vaurioittaa ympäröivät rakenteet.
3.	Vesikatteen läpäisevä vesi tunkeutuu aluskatteen vuotokohdista yläpohjaan.	8.	Kosteiden betonirakenteiden päällystäminen aiheuttaa päällystemateriaalin turmeltumisen.
4.	Kosteutta siirtyy ilmansulku-kerroksen vuotokohdista ulkoseinä- ja yläpohjarakenteisiin, jonne sitä tiivistyy vedeksi.	9.	Materiaalien ja rakenteiden kastuminen vaurioittaa rakennuksen.
5.	Väärin mitoitettu ja säädetty ilmanvaihto ei poista ylimääräistä kosteutta vaan pakottaa sen siirtymään rakenteisiin.	10.	Huonolla ylläpidolla rakennus rapistuu hitaasti mutta varmasti.

(Kuivaketju10, 2017).

5 CLT

CLT är den engelska förkortningen för Cross Laminated Timber, vilket på svenska kan förkortas KL-trä, dvs. korslimmat trä. CLT är en massiv träskiva bestående av trälameller limmade i kors för ökad formstabilitet. Limmet är miljövänligt, inte hälsovådligt och fri från formaldehyd, samtidigt hålls limmängden reducerat till minimum, ca. 1 % av CLT-skivan. Detta resulterar i ett byggelement som är tvärstyvt och tåligt i förhållande till den låga vikten. CLT skivan tillåter således stora spännvidder och effektiviserar byggprocessen genom snabbt montage och brett användningsområde. CLT-skivan är formstabil, stark och enkel att montera som bjälklag, vägg eller yttertak. (Martinsons 2016, s. 5).



Figur 9. Genomskärning av CLT-skivor. (Martinsons, 2016).

5.1 Allmänt

CLT-skivan är formstabil då den är korslimmad och behåller sin form, jämfört med massivt virke som rör sig vid fuktförändringar. Vid jämförelse av materialstyrka kan skivan jämföras med betong, förutom att trä är cirka fem gånger lättare. Detta underlättar speciellt vid hantering och de underliggande konstruktionerna belastas mindre. (Martinsons 2016, s. 6).

Tack vare CLT-skivans uppbyggnad, med korslimmade trälameller, erbjuds flexibla planlösningar med mindre bärande väggar. Detta då spännvidder på 7,7 m klaras med en helt massiv platta och spännvidder upp till 16 m genom att förstärka tvärsnittet med limträbalkar. Materialet är lätt att hantera och stora element tillåter snabba monteringar, vilket påverkar totalkostnaden positivt då arbetskostnaderna minskas. CLT kan även bearbetas med vanliga handverktyg vilket underlättar för hantverkarna vid monteringen. (Martinsons 2016, s. 6).

Materialet tillåter en hög prefabriceringsgrad då skivor tillverkas i element upp till 3 x 16 m. Med CNC-maskiner kan CLT-skivorna bearbetas med större håltagningar eller urfräsningar för att effektivera och underlätta arbetet på byggarbetsplatsen. De maskinarbetade skivorna tillåter hög precision på kapningarna då allt detta görs i en kvalitetssäker fabriksmiljö. (Martinsons 2016, s. 7).

CLT-skivorna kan även beställas med olika ytskiktsskisser, vilket tillåter att insidan kan fås i en bättre kvalitet och användas som sådan. Insidan kan även fås med olika estetiska lösningar genom CNC-bearbetning, t.ex. panel-imitationer. (Martinsons 2016, s. 7).

5.2 Fördelar och egenskaper

CLT är ett miljömedvetet alternativ då den massiva skivan tillverkas i en energisnål process av förnyelsebara råvaror, som binder koldioxid under fotosyntesen och omvandlar den till kol och syre som en naturlig del av kretsloppet. Kolet lagras i trädet under livscykeln och syret avges från träden tillbaka till atmosfären. (Hoisko, 2017).

Korslimmat trä, dvs. CLT, tillverkat av trä ger ett varmt och levande material som andas. Träet bildar en massiv träkonstruktion, som balanserar värme- och fuktväxlingar naturligt. Detta innebär att inomhusluftens fuktighet håller sig kring 30–55 % RH. (Hoisko, 2017).

Materialets täthet gör att brandsäkerheten är bättre än för traditionellt trä, eftersom spridning och förkolning i konstruktionen är långsammare. Ytan kan även behandlas så att den blir oantändlig. Tätheten beror på de korslimmade, tätt sammanpressade trälamellerna som hindrar materialet från att utvidga, eller dra ihop sig. (Hoisko, 2017).

Se bilaga 2 för CLT-märkdata från Stora Enso.

Sammanfattningsvis är fördelarna med CLT:

- Kostnadseffektivt byggmaterial, elementen är snabba att tillverka och spill minimeras
- Produkten är torr vid monteringen, vilket tillåter tidig ytbehandling
- Värme- och fuktutjämnande egenskaper
- Konstruktionsmässig bärförmåga och stabilitet
- Mångsidiga lösningar och användningsområden
- Miljövänlighet och konstaterade positiva effekter på hälsan och livskvaliteten

(Hoisko, 2017).

5.2.1 Lufttäthet

Mätningar utförda av Holzforschung Austria har påvisat att CLT från Stora Enso med minst tre skikt lameller är lufttäta. Resultatet visade att volymströmmarna genom de undersökta skarvvarianterna och skivytan låg utanför det mätbara området på grund av hög lufttäthet. Denna egenskap är fabriksberoende och gäller inte alla tillverkare. Lufttäthetsprovningen för Stora Ensos CLT-skivor utfördes enligt *ÖNORM EN 12114:2000*. (Stora Enso 2017, s. 14).

Formförändringar i trästrukturen på grund av växlande fuktförhållanden, dvs. att träet sväller och krymper, kan under livslängden leda till vågor (fuktigt) eller sprickor (torrt) på skivytan. Trots dessa förändringar hålls skivan lufttät under hela sin livslängd, enligt undersökningar vid laboratoriet för byggnadsfysik vid det tekniska universitetet i Graz. Mätningarna utfördes på en skiva med tre skikt lameller och djupgående maskinell bearbetning. Inga mätbara luftströmmar kunde påvisas trots sprickor och bearbetning. (Stora Enso 2017, s. 15).

5.2.2 Fuktegenskaper

CLT-skivor är lufttäta efter tre skikt av trälameller, men inte ångtäta. Skivorna är diffusionsöppna och limfogarna är de som bildar en ångbroms för den utanpåliggande isoleringen. CLT-skivan bildar på så vis en variabel ångbroms. På vintern när luftfuktigheten inomhus är låg, blir skivan diffusionstätare och förmågan att transportera fukt reduceras. Under sommaren ökar luftfuktigheten inomhus och skivan blir istället diffusionsöppnare. (Stora Enso 2017, s. 17).

CLT reglerar även luftfuktigheten i rummet genom att vid ökad fuktighet lagra fukten och sedan, när luftfuktigheten sjunker, avge den lagrade fukten tillbaka, vilket gör att luftfuktigheten inomhus hålls kring 30–55 % RH. Denna egenskap finns naturligt i trämaterial, dvs. de är hygroskopiska och strävar efter att hamna i jämnvikt med omgivningens klimat, dvs. fukthalten. Detta innebär att konstruktioner kan utföras diffusionsöppna inåt och utåt med hänsyn till byggnadsfysikaliska konstruktionsprinciper. (Stora Enso 2017, s. 17).

Vid bedömning av ångtransport och eventuell skadlig kondens inuti konstruktionen, anses konstruktionen funktionsduglig om kondens inte inträffar eller om den kondenserade mängden vatten kan torka eller avdunsta under tid. Alternativt att mängden är låg i förhållande till materialets förmåga att bära fukt, tills dess att fukten kan avdunsta eller övergå till luften. Ytfuktkvoten bör dock understiga 18 % vid inbyggnad för att undvika mikrobiella skador. (KL-trähandbok 2017, s. 160).

5.2.3 Diffusionsegenskaper

Diffusionsegenskaperna hos CLT har beräknats av Stora Enso och är beroende av fuktkvoten och limfogarna samt omkringliggande trälameller, då de innehåller olika diffusionsmotstånd.

Testerna har visat att diffusionsmotståndsfaktorn, μ hos limfogarna sjunker vid ett fuktigt klimat. Vid torrt klimat (23 °C & 26,5 % RH) har limfogarna samma ekvivalenta luftskiktstjocklek, s_d -värde, som massivt granträ med en tjocklek på 6 mm (+/- 4 mm). Motsvarande s_d -värde är 13 mm (+/- 6 mm) vid ett fuktigt klimat (23 °C & 71,5 % RH). (Stora Enso 2017, s. 16).

Detta resultat innebär att en CLT-struktur med två hellimmade fogar och tre skikt, har ett genomsnittligt s_d -värde motsvarande samma tjocklek som massivt granträ (+ 12 mm vid torrt klimat och + 26 mm vid fuktigt klimat). (Stora Enso 2017, s. 16).

Det fuktighetsberoende värdet på diffusionsmotståndet mot vattenånga μ , har även beräknats vid Thünen-Institut für Holzforschung (Hamburg). Värdet stiger linjärt mot CLT-elementens tjocklek i förhållande till limfogarnas antal, därför baseras resultatet på ett genomsnittligt antal limfogar per cm CLT-tjocklek. (Stora Enso 2017, s. 16).

Följande värden uppges som diffusionsmotståndet mot vattenånga, vid olika fuktigheter:

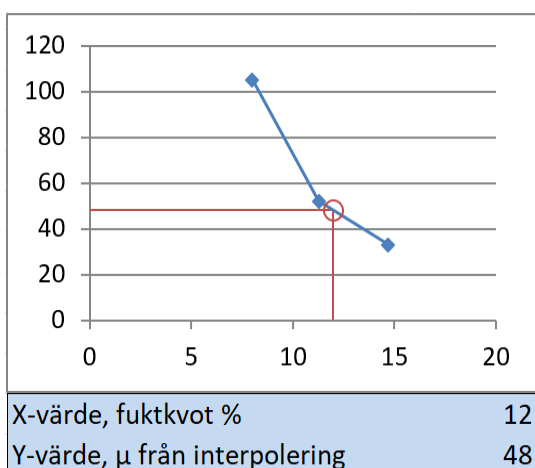
Tabell 17. Diffusionsmotståndsfaktor, Stora Enso CLT.

- 11,3 % träfuktighet ➔ $\mu = 52 \pm 10$
- 14,7 % träfuktighet ➔ $\mu = 33 \pm 7$
- 8,0 % träfuktighet ➔ $\mu = \sim 105$
(interpolerande beräkning)

(Stora Enso, 2017).

Enligt tidigare teori, kan diffusionsmotståndsfaktorn omvandlas till olika enheter.

Genom att anta fuktkvoten 12 % och interpolera, utan osäkerhetsfaktorer för μ , fås:



Figur 10. Interpolering med Microsoft Excel.
(Holmgren, 2018)

$$\delta_{p,\text{material}} = \frac{\delta_{p,\text{luft}}}{\mu} \quad Z = \frac{d}{\delta} \quad S_d = \delta \cdot Z \quad S_d = \mu \cdot d$$

$$\delta_{p,\text{material}} = \frac{188 \cdot 10^{-12} \frac{\text{kg}}{\text{msPa}}}{48} = 3.917 \cdot 10^{-12} \frac{\text{kg}}{\text{msPa}}$$

80 mm tjock CLT ger s_d -värdet:

$$S_d := 48 \cdot 0.08 \text{ m} = 3.84 \text{ m} \quad \text{eller:}$$

$$Z_{80\text{mm}} = \frac{0.08 \text{ m}}{3.917 \cdot 10^{-12} \frac{\text{kg}}{\text{msPa}}} = 2.042 \cdot 10^{10} \frac{\text{m}^2 \text{ sPa}}{\text{kg}}$$

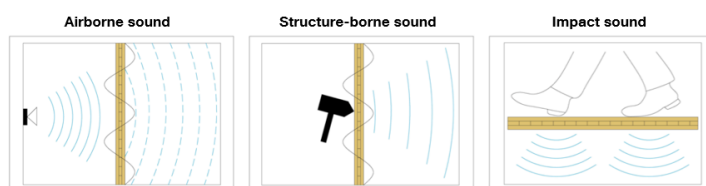
$$S_d = \left(188 \cdot 10^{-12} \frac{\text{kg}}{\text{msPa}} \right) \cdot \left(2.042 \cdot 10^{10} \frac{\text{m}^2 \text{ sPa}}{\text{kg}} \right) = 3.839 \text{ m}$$

5.2.4 Ljudisolering

En bra ljudisolering är en viktig förutsättning för behagliga boende- och vistelsemiljöer. De krav som ställs säkerställer att normalt känsliga människor får ett tillräckligt skydd mot buller utifrån, från angränsande byggnader och andra enheter inom samma byggnad. (Stora Enso 2017, s. 18).

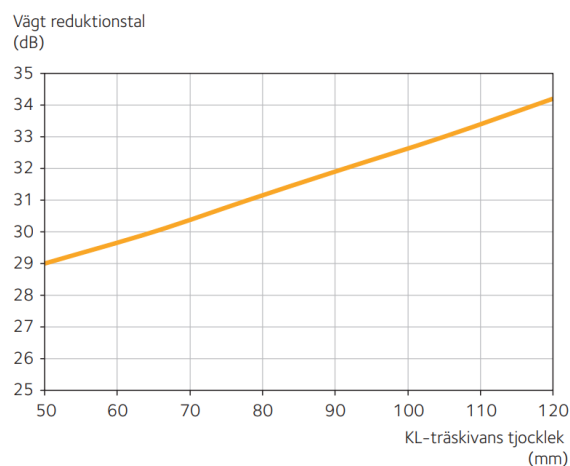
Ljudisoleringen hos väggkonstruktioner med ett CLT-skikt bestäms av böjstyvheten och massan per ytenhet. Enligt Bergers massalag förbättras ljuddämpningen med 6 dB då massan fördubblas. För en bra ljudisolering ($R_w > 50$ dB) med enskiktskomponenter, krävs då ytrelaterade massor som är större än 250 kg/m^2 . (Stora Enso 2017, s. 20).

Inom byggnadsakustik delas ljudets källa in i luftljud, stomljud och stegljud. Luftljudsisoleringsstalet R_w eller R'_w (dB) och stegljudsnivåtalet $L_{n,w}$ eller $L'_{n,w}$ (dB), bestäms genom att uppmätta värden på olika frekvensband jämförs mot en standardiserad jämförelsekurva. Mätningen av dessa kan ske i laboratoriemiljö eller i byggnaden och avskiljs genom att tilldela mätningarna i byggnader med apostrof, R'_w (dB) eller $L'_{n,w}$ (dB). (ByggBS C1, 1998).

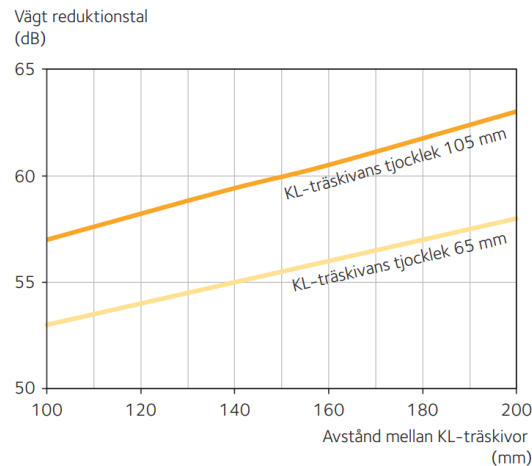


Figur 11. Luftljud, stomljud och stegljud. (Stora Enso, 2013).

För CLT-konstruktioner är kompletterande skikt för ljudisoleringen av betydelse, då tyngden ökas. Men även genom att konstruera dubbelkonstruktioner kan en god ljudisolering uppnås. (KL-trähandbok 2017, s. 154).



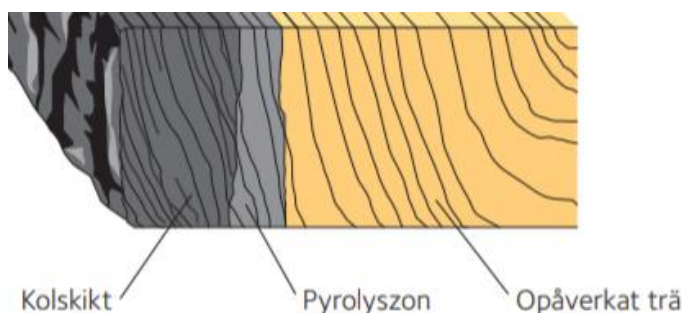
Figur 12. Laboratiemätningar av CLT-väggar med enkelkonstruktion. (KL-trähandbok, 2017).



Figur 13. Laboratiemätningar av CLT-väggar med dubbelkonstruktion. (KL-trähandbok, 2017).

5.2.5 Brandisolering

Fukthalten hos Stora Ensos CLT-skivor ligger kring 12 %, vid torra förhållanden minskar detta enligt sorptionskurvan till en lägre nivå. Då CLT utsätts för brandpåfrestning stiger materialets temperatur och det kemiskt bundna vattnet börjar avdunsta vid ca. 100 °C. Temperaturökningen fortgår och kemiska förbindelser sönderdelas vid 200–300 °C varefter brännbara beståndsdelar börjar ryka och en förbränning med låga sker. Denna stegvis fortgående process kallas för pyrolys och innebär att en förkolningszon byggs upp. Egenskaperna hos detta skikt är låg densitet och hög permeabilitet, vilket verkar värmedämpande och skyddar det underliggande trä materialet. Kolskiktet skyddar de inre CLT-skikten som ännu inte påverkats, vilket gör att den massiva träkonstruktionen förkolnar, men pyrolysen och beteendet kan beräknas och förutses. (Stora Enso 2017, s. 20).



Figur 14. Förkolningsprocess. (KL-trähandbok 2017, s. 20).

CLT-skivor från Stora Enso, klassificeras som Euroklass D-s2, d0. Detta innebär att ytskiktet till viss del är känsligt för brand, kan avge en begränsad mängd brandgaser samt att brinnande droppar eller partiklar inte avges från byggnadsdelen.

Brandegenskaper för olika byggnadselement från Stora Enso CLT, som blivit testade och klassificerade för brand, kan ses i bilaga 3.

5.2.6 Värmekapacitet

Trä har god värmelagringsförmåga, vilket medför att temperaturen jämnas ut under dygnet. Då byggnadsdelen kyls ner, värms luften och när byggnadsdelen värms upp, kyls luften. För att ta tillvara på energibesparingen som denna utjämnande effekt för med sig, måste man tillåta temperaturen variera några grader under dygnet. Förutom energibesparingen massiva träkonstruktioner bidrar till, är materialets låga värmeledningsförmåga till fördel då temperaturen inomhus kan sänkas. Detta på grund av att köldbryggarna är få och träytorna känns varma och behagliga. (KL-trähandbok 2017, s. 157).

5.2.7 Värmeledningsförmåga

Värmekonduktiviteten λ , även kallad värmeledningsförmågan, anger materialets värmeisolerande förmåga. Denna beror på CLT-skivans densitet och fuktkvot, vilken ligger kring 12 %. Som praktisk tillämpligt värde på värmekonduktiviteten, anges lambda-värden mellan 0,13–0,14 W/m*K, vilket är ca. tre gånger högre än traditionella isoleringsmaterial. Detta betyder praktiskt att en CLT-skiva behöver ytterligare isolering för att uppfylla de krav som ställs på klimatskalet. (KL-trähandbok 2017, s. 161).

Tabell 18. Jämförelse av värmeledningsförmåga.

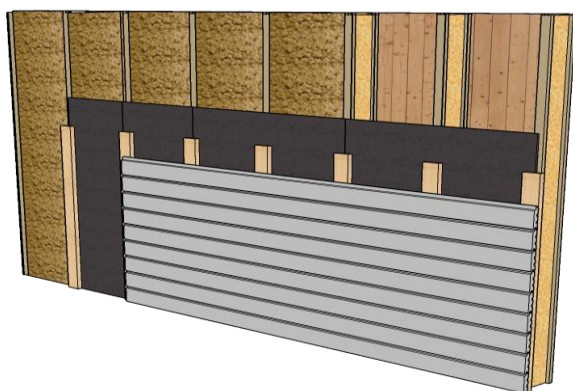
Material	Värmekonduktivitet, λ (W/m°C)
Isolering	0,04
KL-trä	0,13
Trä	0,14
Gipsskiva	0,25
Betong	1,7

(KL-trähandbok, 2017).

5.2.8 Köldbryggor

CLT-skivor är i sig värmeisolerande och har få köldbryggor då CLT-skivan oftast placeras på den varma sidan av konstruktionen och värmeisoleringen på den kalla sidan. Det heltäckande isoleringsskiktet på utsidan utgör en större helhet och bryts normalt inte av träreglar som vid traditionellt byggande. (KL-trähandbok 2017, s. 8, 21, 160).

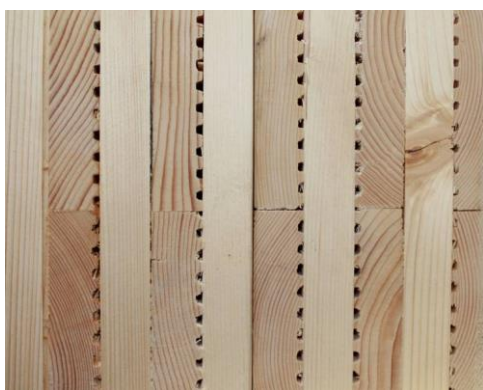
Den yttre värmeisoleringen består i allmänhet av en hård isolering som kan fästas direkt i CLT-skivan, utan skålning vilket minimerar köldbryggorna. Denna lösning kan ses funktionell och enkel, men tillåter inte de mjuka isoleringarna såsom de träfiberbaserade. De träfiberbaserade har samma byggnadsfysikaliska egenskaper som CLT-skivorna, vilket gör att de bör användas så länge brandskyddskraven tillåter detta. Skålningen kan istället lösas med lättbalkar, mellan CLT-skivan och vindskyddet, istället för de traditionella träreglarna. Detta tillåter både ullblåsning och mjuka isoleringskivor samt minimerar köldbryggorna.



Figur 15. CLT-skiva med lättbalkar och träfiberisolering. (Holmgren, 2018).

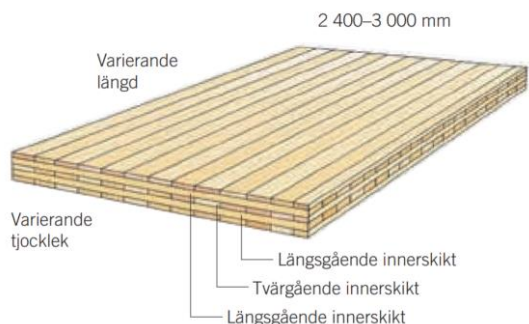
5.3 Skivtyper

De CLT-skivor som är mest förekommande är bland annat de som Stora Enso förespråkar som standardkonstruktioner, se bilaga 4. Förutom dessa finns det även nytänkande inom CLT-industrin, bl.a. Massiv-Holz-Mauer, [MHM] som genom att införa luftskikt i trälamellerna sänker värmeledningsförmågan till en praktiskt tillämpbar värmekonduktivitet på, $\lambda = 0,11 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$, dvs. $\sim 15 \%$ bättre än de traditionella CLT-skivorna. Något annat som skiljer dem åt är att lamellerna inte är ihoplimmade, utan sammanfogade med aluminiumspikar. Dock inverkar hålrummen i trälamellerna på den strukturella bärförmågan och skivorna fås som störst i måttet 3,25 x 6 m. (MHM, 2018).



Figur 16. MHM-skiva med minskad värmekonduktivitet. (MHM, 2018).

CLT-skivans uppbyggnad består vanligtvis av 3–5 lamellsikt och kan fås i upp till 8 skikt, se bilaga 5. Tjockleken för dessa skikt varierar mellan ~ 20 – 40 mm och skivtjocklekar fås därmed i ~ 60 – 400 mm. Lamellbredden är ≤ 130 mm till max. 230 mm. Ytskikten kan, beroende på ändamål, fås i både längdriktning och tvärriktning. För väggar är tvärriktning på de yttersta lagren det lämpliga att använda. Dessutom fås trälamellerna i olika hållfasthetsklasser, från C14 till C24, enligt efterfrågan. CLT-skivor från Stora Enso innehar sorteringsklass C24, innehållande högst 10 % trälameller enligt klass C16 enligt sorteringsklassens godkännande. (Stora Enso, s. 4).



Figur 17. Anpassningsbara mått och tjocklekar. (Martinsons, 2016).

5.3.1 Ytskiktsskisser

För CLT-skivorna fås också ytskiktets kvalitet väljas efter en skala, enligt ändamålet. Slut användningen och behovet avgör vilken kvalitet på ytskiktet som krävs, se bilaga 6. Stora Enso erbjuder dessutom specialtyr för de yttersta lagren, vilka monteras som ett 20 mm extra skikt på de synliga sidorna. Dessa finns i furu, lärk, silvergran och cembratall.

För övrigt indelas ytkvaliteten efter om de skall vara synliga eller inte. Stora Enso har valt att använda sig av följande system:

- VI = Synlig kvalitet
- IVI = Synlig industriell kvalitet
- NVI = Icke synlig kvalitet

Tabell 19. Beskrivning över ytskiktets kvalitet.

Kvalitetsbeteckningar

Stora Enso erbjuder tre olika CLT-tyr						
NVI	Icke visuell tyr					
IVI	Industriell visuell tyr					
VI	Visuell tyr					

Stora Ensos CLT-kvaliteter sätts samman av tre olika ytkvaliteter						
Kvalitetsbeteckning	NVI	VI	BVI	INV	IBI	IVI
Täckskikt	NVI	VI	VI	IVI	IVI	VI
Mellanskikt	NVI	NVI	NVI	NVI	NVI	NVI
Täckskikt	NVI	NVI	VI	NVI	IVI	IVI



(Stora Enso, 2017).

5.4 Hantering

En stor fördel med att bygga med CLT-element är den snabba byggtiden. På så sätt minimeras risken för skador orsakade av otillräckligt väderskydd. Trots det behöver träet skyddas mot fukt på arbetsplatsen så att ingen onödig uttorkning behövs.

Grundprincipen är således att CLT och övriga klimatkänsliga konstruktionsdelar, skall byggas in och skyddas så fort som möjligt. Om detta inte är möjligt, skall konstruktionerna skyddas med ett så effektivt klimatskydd som möjligt.

Redan vid planeringen kan detta beaktas, genom att försöka planera in leverans och montering enligt klimatförhållanden och årstid. Detta för att göra monteringsarbetet så snabbt och effektivt som möjligt, då väderförhållanden tillåter, utan onödig fuktpåfrestning.

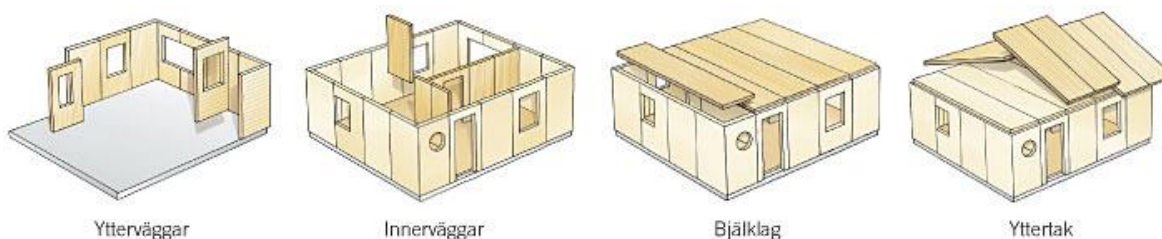
(KL-trähandbok 2017, s. 164–165).

5.5 Användningsområden

CLT används i dagsläget för allahanda konstruktionstyper. Småhus, höghus, hallar och broar är några av de användningsområden där CLT används. Genom att projektera med lämpliga utföranden, detaljer, ytskikt och väderskydd, kan CLT användas till de flesta konstruktioner. (KL-trähandbok 2017, s. 11).

CLT-skivor används främst som väggar eller bjälklag, men skivorna kan också användas till andra delområden. Exempelvis balkonger, hisschakt, loftgångar och trapphus. Kännetecknande för väggar och bjälklag av CLT är att de fås i stora element. De stora tvärsnittsytorerna medför en hög bärförmåga och styvhet, vilket fungerar stabiliserande för konstruktionen. (KL-trähandbok 2017, s. 21).

Skivorna har också fördelen av att egenvikten förhållandevis är låg, vilket gör att de är enklare att hantera än exempelvis betong. Den låga vikten är också till fördel när man bygger om befintliga byggnader, exempelvis våningspåbyggnad, utan grundförstärkningar. Möjligheterna är många då materialet förutom sin bärförmåga även kan klara av att ytskikten utsätts för aggressiva miljöer eller mekanisk påverkan. (KL-trähandbok 2017, s. 21–22).



Figur 18. Vanliga användningsområden. (Martinsons, 2016).



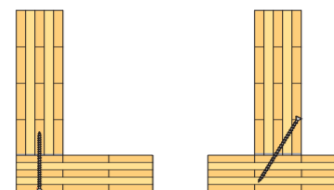
Figur 19. Förenklat förfarande för hemmasnickare. (Martinsons, 2016).

5.6 Anslutningar

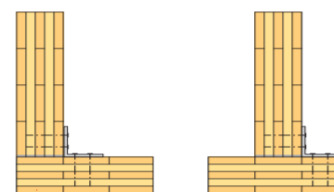
Vid montering av CLT-skivorna förekommer standardlösningar gällande knutpunkter och anslutningar, vilka kan ses i bilaga 7 och bilaga 8.

Det allmänna tillvägagångssättet vid montering av CLT är att använda långa skruvar och plåtbeslag. För anslutningarna bör lufttäteten bibehållas med tätningar mellan de olika delarna.

Mellan CLT-skivor i hörn kan anslutningen ske med träskruvar, vinkelplåtar eller dolda beslag. Denna typ av lösning kräver att träskruvarna inte enbart skruvas parallellt i fiberriktningen. Lösningen kan vara skråskruvning, dvs. skruvning snett in i skivan. Vinkelbeslag eller spikplåtar mellan skivorna är också ett alternativ, men mindre lämpligt på synliga skivor. (KL-trähandbok 2017, s. 77).



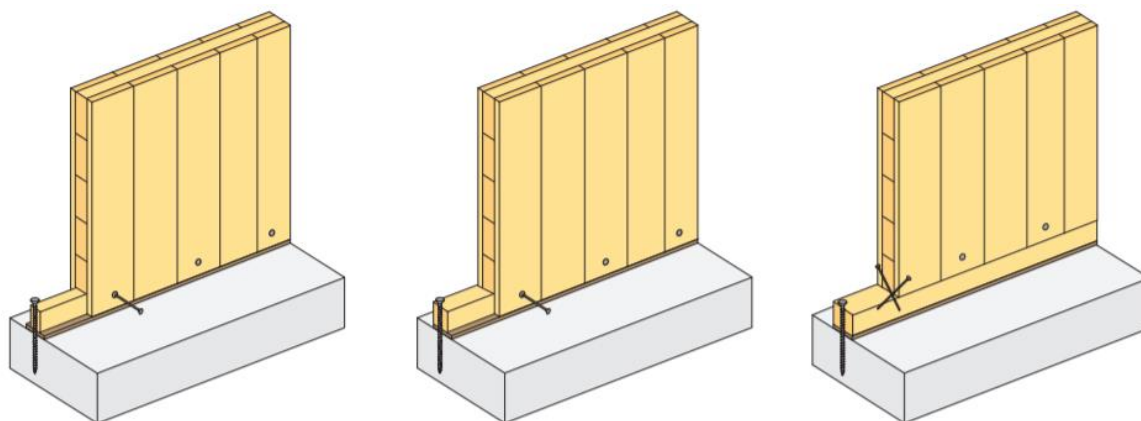
Infästning med skruvning, horisontalsnitt.



Infästning med vinkelbeslag, horisontalsnitt.

Figur 20. Anslutning skiva-skiva. (KL-trähandbok, 2017).

Infästningar för CLT-väggskivor mot grund eller tak är normalt inte momentupptagande förband, vilket innebär att enkla anslutningar med långa skruvar eller vinkelbeslag kan tillämpas även här. Dessa anslutningar lämpar sig för både större och mindre horisontalkrafter. För anslutning mot betong, leca eller dylika material som kan innehålla fukt, bör fuktspärre eller annan syllisolering finnas. Både för att undvika uppvätning och luftströmmar. Infästningar kan också ske med någon typ av styrregel, då CLT-skivorna från fabrik kan bearbetas enligt önskemål och urfräsningar, spår och liknande fås enligt behov. (KL-trähandbok 2017, s. 79).



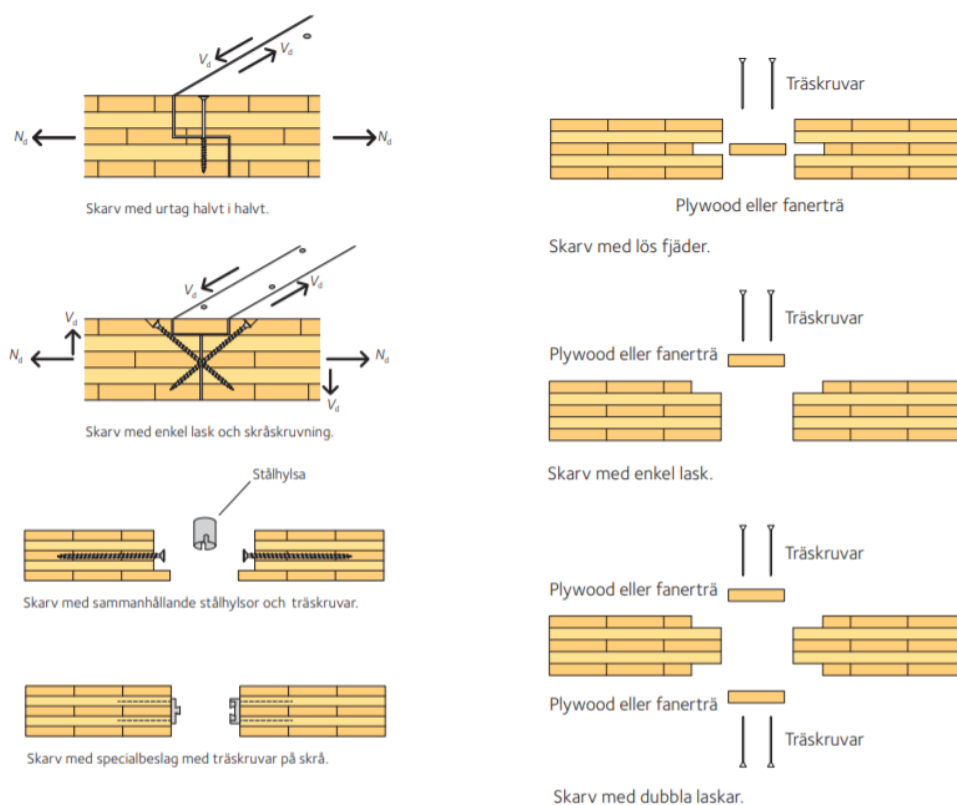
Figur 21. Anslutning skiva-grund. (KL-trähandbok, 2017).

Mellan CLT-skivor i väggar och bjälklag kan lösningen se ut på många olika sätt. De allmänt använda lösningarna är att skarva skivan omlott eller med urtagningar som fixeras med hyvlat virke, björkfaner, eller motsvarande.

Att fixera skivorna med björkfaner har dock visat sig skadebenäget vid fuktbelastning. Detta framkom vid Wood City i Helsingfors, där man testade att bygga med CLT utan väderskydd. Resultatet blev dock att björkfaneren i anslutningen mellan skivorna var känsligare för fuktbelastning och fick mikroskador, medan CLT-skivorna inte uppvisade några problem. (SRV, 2017).

Dessa anslutningar tillåter infästning med både skruvar och olika typer av specialbeslag, där skivorna sammanfogas med olika typer av haksystem. Dessa bygger på att beslag skruvas på eller inuti CLT-skivornas ändor, varefter skivorna hakas ihop direkt de lyfts på plats. (KL-trähandbok 2017, s. 75–76).

Haksystem är någonting som det finns potential i att utveckla inom CLT-industrin och kommer med största sannolikhet att förbättras i framtiden. Detta på grund av att arbetsmomenten på arbetsplatsen kan reduceras om skivorna eller modulerna snabbt länkas ihop, utan behov av justering, långa skruvar och beslag.



Figur 22. Skarvtyper. (KL-trähandbok, 2017).

På marknaden finns redan några alternativ till de traditionella anslutningarna med långa skruvar och beslag. Bland annat X-fix som utnyttjar CLT-skivans förmåga att bearbetas på fabrik och träets naturliga egenskaper. På detta sätt fås ett "haksystem" som är lätt att använda och tillåter oss använda trä med hög precision på anslutningarna, utan behov av metallbeslag. Metoden är tidsbesparande på arbetsplatsen och kräver inga speciella verktyg. Dessutom minimeras mängden CLT som går till spillo. (X-fix, 2016).

Systemet är ett trä till trä monteringsystem och kan tillämpas i de flesta anslutningarna med två olika system. X-fix C, för bjälklag och väggar eller X-fix L, för vägganslutningar. För lättare montering och ökad styrka kan ett lim tillföras vid sammanfogningen. (X-fix, 2016).

X-fix C, består i huvudsak av två träkilar formade som ett X, vilka kilas mellan elementen i hål. Dessa kan vara färdigt urfrästa från fabrik eller på arbetsplatsen med en speciell fräsmall och en överhandsfräs. Denna anslutning ger en stark och tät lösning, baserad på träprodukter.



Figur 23. X-fix C. (X-fix, 2016).

X-fix L, ger möjligheten att helt dölja anslutningen mellan skivorna. Såsom X-fix C består denna typ av sammanfogning även av kilar formade som ett X i ett längre utförande, dock max 3 m. För denna typ krävs maskinarbetade skivor från fabrik, med spår färdigt urfrästa då skivorna kommer till arbetsplatsen. Anslutningen går till så att skivorna lyfts på plats, varefter en av kilarna placeras i det urfrästa hålet. Detta håller ihop skivorna tills den andra kilen tillförs med en hammare, vilket ger en tät, dold, och stark anslutning. (X-fix, 2016).



Figur 24. X-fix L. (X-fix, 2016).

5.7 Marknadsläget

CLT-tillverkning finns idag etablerad i stora delar av världen och även i Norden. Ursprungligen var det i Österrike under 1990-talet som Kreuzlagenholz, KLH = CLT utvecklades och det är även där en stor del av utvecklingen av CLT-skivor ännu fortgår. (KL-trähandbok 2017, s. 9).

Tillverkningen och byggandet med CLT är en växande trend då fler och fler överväger att bygga i trä, klimatsmart och ekologiskt. Efterfrågan på marknaden ökar stadigt och satsningen på CLT syns i antalet produktionslinjer som blir fler och fler världen över.

För att nämna några företag är det Stora Enso, Martinsons och CrossLam Kuhmo som satsar i produkten som de alla anser är framtidens byggnadsmaterial att utveckla och ta i bruk.

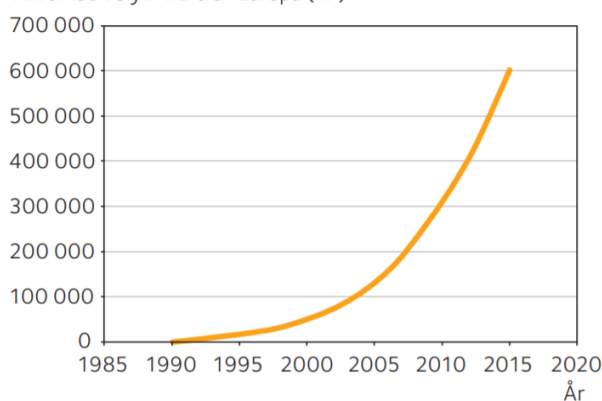
I Sverige introducerades CLT-tekniken under slutet av 1990-talet och sedan dess har produktionen ökat till ca. 15 000 m³ CLT per år, en siffra som ännu förväntas öka.

I Finland var det Stora Enso som levererade de första CLT-byggnaderna, bland annat Haltia - Finlands Naturcentrum, var den första offentliga byggnaden av massivt trä i Finland. Efter det har många CLT-baserade byggen ägt rum och påbörjats, bl.a. Wood City i Helsingfors.

Den första fabriken av CLT-skivor i Finland inledde sin produktion i Kuhmo, juli 2014. Det var företaget CrossLam Kuhmo Ltd vars årskapacitet ligger kring 10 000 m³. Sedan dess har även företaget CLT Finland Oy, även kallat HOISKO, inlett produktion av korslimmade träskivor i Alajärvi, vilka har en årskapacitet på 30 000–35 000 m³. Även i Kauhajoki etablerar sig företaget CLT Plant Oy för tillverkning av CLT-skivor under 2018. Detta om något indikerar på framtidstron för CLT även i Finland. (*Maaseudun tulevaisuus* 26.1.2017).

Tabell 20. Utvecklingen av CLT i Europa (m³).

Tillverkad volym KL-trä i Europa (m³)



1990 – 1995	Idéer, patent och förslag presenteras i facktidsskrifter ute i Europa.
1996 – 2000	Prototyper och komponenter utvecklas för den svenska marknaden.
2000 – 2004	Första leveranserna till mindre byggobjekt i Sverige.
2004 – 2005	Första högre trähusen av KL-trä byggs i Sverige.
2005 – 2014	Allt fler objekt byggs av KL-trä.
2015 –	Prognos för hela Europa.

(KL-trähandbok, 2017).

6 Utformning av väggkonstruktion

Ytterväggars funktion är att fungera som ett klimatskydd med isolerande egenskaper mot värmeförluster och kunna motstå påfrestningar från regn, snö, vind, strålning, temperaturvariationer, biologisk påverkan samt motstå påkänningar av fukt och vatten. (Petersson 2013, s. 187).

Ytterväggar skall uppfylla byggnadstekniska och estetiska funktioner, därför gäller det att materialval och byggnadstekniska lösningar utförs korrekt. (Strandberg 2015, s. 126).

Bärande ytterväggar skall kunna bära upp egenvikten, husets last samt belastning från verksamheten som pågår i byggnaden. Denna vertikallast skall sedan föras ner till grunden. Oavsett bärförmåga skall väggen kunna stå emot vindlaster och egenvikter, dimensioneringen för detta skall göras av en konstruktör utom vid små och enkla byggnader vilka innehar traditionella och välkända uppbyggnadssätt. (Strandberg 2015, s. 127).

Väggkonstruktioner bör konstrueras så att ett visst vattengenomsläpp kan tillåtas, så länge den bakomliggande luftspalten kan ventilera bort eventuell fukt. (Petersson 2013, s. 187).

För att undgå att skadlig kondens uppstår i ytterväggar, skall väggens ångtätaste skikt vara mot inomhusluften. Ånggenomsläppligheten hos materialen skall öka mot väggens insida och förses med en invändig ångspärr för att hindra skadlig konvektionsfukt och diffusionsfukt. (Petersson 2013, s. 192).

En viss kondensation inuti väggen kan tillåtas om fukten kan absorberas i hygroskopiska material, utan att riskera frostsador, för att sedan torka när fuktförhållandena så tillåter. En sådan situation kräver även att det inte finns otätheter i väggen som kan medföra konvektion. (Petersson 2013, s. 192).

Större delen av de småhus som tillverkas idag byggs som prefabricerade väggelement. Detta innebär att man i en skyddad miljö, oftast en fabrik, förtillverkar väggar uppdelade i sektioner. Dessa transporteras sedan till byggsplatsen där elementen monteras ihop.

Även volymelement har blivit vanligare, där golv-, vägg- och tak byggs ihop redan på fabrik och transporteras som hela hus eller i mindre moduler till byggnadsplatsen, s.k. modulhus. Denna typ av förtillverkning möjliggör även att invändiga skikt, installationer och inredningsdetaljer kan göras klart på fabrik. På byggarbetsplatsen kvarstår endast montering.

6.1 Materialval

6.1.1 CLT

Den bärande stommen i denna struktur är en CLT-skiva som innehar alla de goda egenskaper som tidigare nämnts. Baserat på dessa uppgifter lämpar sig CLT utomordentligt till detta.

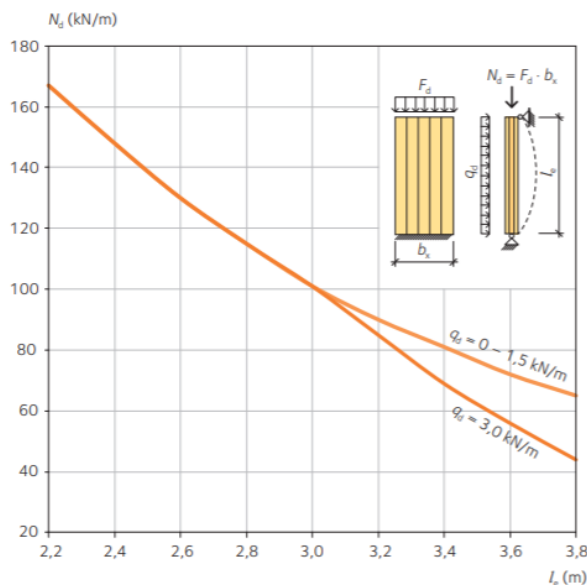
För att kunna bestämma erforderlig tjocklek på CLT-skivan som behövs för att hantera lasterna, krävs hållfasthetsberäkningar. För väggskivor är dessa vanligtvis mot tryck, böjning, knäckning och dimensionering mot brand. CLT är för nuvarande inte inkluderat i gällande Eurokod 5 som behandlar dimensionering av träkonstruktioner, revidering av detta fortgår och borde ingå i nästa upplaga. Dock finns det en europeisk standard, SS-EN 16351, vilken anger kraven på tillverkning och kvalitetssäkring. Tillverkare kan dock inte CE-märka sina produkter enligt denna, utan hänvisas för nuvarande till Europeisk Teknisk Bedömning (European Technical Assessment), ETA-dokument. (Svenskt Trä, 2017).

För mer detaljerade beräkningar erbjuder Stora Enso ett dimensioneringsprogram på deras hemsidor kallat "Calculatis by Stora Enso". Programmet erbjuder beräkningar för olika byggnadsdelar och man har själv befogande över de lastfall som verkar på konstruktionen. (Stora Enso, 2018).

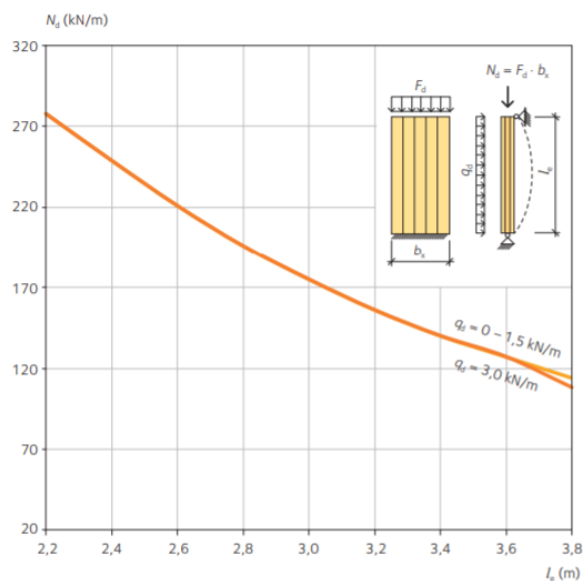
I ett tidigt skede av projekteringen, såsom i detta fall, kan man använda sig av tillverkarnas fördimensioneringstabeller. Exempel på fördimensioneringstabeller från Stora Enso ses i bilaga 9, vilka anger fördimensionering av en tvåstödsbalk. Tabellerna anger vilken dimension på CLT-skivan som lämpar sig efter nyttolast, egenvikt, brand [R] och spännvidd.

För CLT-väggskivor betraktas lasten som en linjelast och skivor med en tjocklek på 80 mm kan dimensioneras mot linjelaster över 100 kN/m. För stora håltagningar betraktas skivorna mellan öppningarna som pelare, med en knäcklängd som motsvarar våningshöjden. (KL-trähandbok 2017, s. 25).

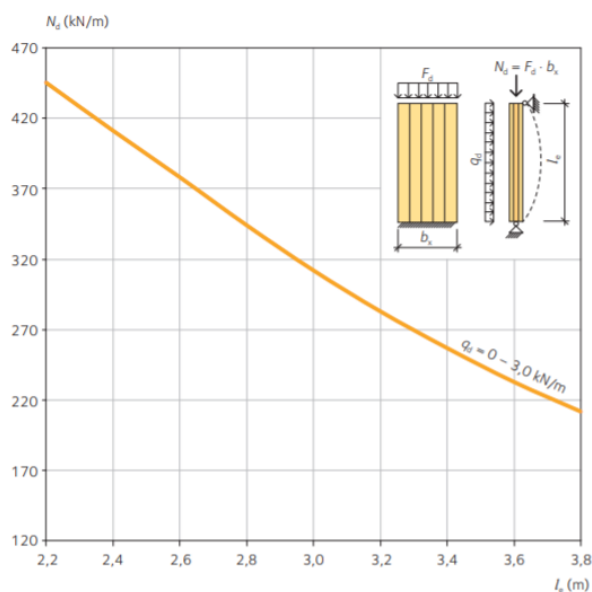
I följande diagram visas dimensionerande vertikal last N_d , vid olika transversallaster q_d , och vägghöjder l_e per längdmeter för CLT-väggskivor. De dimensionerande värdena från dessa tabeller kan betraktas som riktgivande då uppbyggnaden av skivorna också kan inverka. Diagrammen är beräknade för konsekvensklass 3, klimatklass 1–2, och medellång varaktighet enligt den svenska nationella bilagan till Eurokod 5. Med den finska nationella bilagan är resultaten i samma storleksordning. Dimensionering mot brand är däremot inte inkluderat i dessa diagram, vilket bör beaktas. (KL-trähandbok 2017, s. 27–29).



Figur 27. Fördimensionering av 80 mm CLT.
(KL-trähandbok, 2017).



Figur 28. Fördimensionering av 100 mm CLT.
(KL-trähandbok, 2017).



Figur 29. Fördimensionering av 120 mm CLT.
(KL-trähandbok, 2017).

Denna väggkonstruktion utgår därför ifrån en stomme av 80 mm C3s CLT-skiva, enligt Stora Ensos egenskaper, (Bilaga 4). Storleken på skivan bestäms till 3,00 x 6,00 m (höjd x bredd). Det rekommenderade priset för CLT är enligt återförsäljare beroende på bearbetningsgraden och transportkostnader, men kan enligt uppgifter uppskattas till ca. 500 €/m³ (moms 0 %).

Insidan lämnas i detta fall synlig, med kvalitet VI enligt Stora Ensos klassificeringssystem, (Bilaga 6). Detta ger möjlighet till olika typer av ytbehandling. Insidan kan också beklädas för ökat brandmotstånd, eller efter estetiska krav med t.ex. inredningsskivor och dylikt.

6.1.2 Ångbroms

En ångbroms används på samma sätt som ångspärr av plast, på den varma sidan av isoleringen. Ångbromsen är däremot diffusionsöppnare och dess funktion är att se till att konstruktionen är lufttät och på så vis hindra fuktkonvektion, samt vattenångans diffusion in i klimatskalet. Denna typ lämpar sig speciellt där man vill kunna tillåta dubbelriktad ångtransport, vilket ger fukten möjlighet att transporteras åt båda hållen. Ett sådant scenario kan vara vid eventuell byggfukt inne i konstruktionen eller sommarstugor där inne- och uteklimatet kan växla, beroende på periodvis uppvärmning. (Strandberg 2015, s. 133).

Som eventuell ångbroms har valts:

Hunton Intello Plus

- Variabel ångbroms
- Tjocklek = 0,2 mm
- Vikt = 110 g/m²
- Sd-värde = 7,5 m
- Diffusionsmotståndsfaktor, $\mu = 37\,500$
- Värmeledning, $\lambda = 0,17$ W/mK
- Rekommenderat pris = 4 €/m² (moms 0 %)



Figur 30. Intello Plus. (Hunton, 2017a)

De krav som ställs i ByggBS är enligt kapitel 3.2.6 bl.a. följande:

- *För att okontrollerade skadliga luftströmmar genom konstruktionen skall förhindras, krävs det att minst ett skikt i konstruktionen fungerar som luftspärr. Om det inte finns särskilt skikt som fungerar som luftspärr, skall det i värmeisoleringen finnas ett skikt med så låg luftgenomsläpplighet att det kan fungera som sådant. (ByggBS C4, 2003).*
- *Om konstruktionen kan släppa igenom skadliga mängder vattenånga eller luft, skall ång- och lufttätheten säkras genom att installera ändamålsenliga skikt som fungerar som ångspärr, luftspärr och vindskydd. (ByggBS C2, 1998).*
- *Ånggenomgångsmotståndet på den varma sidan av värmeisoleringen skall vara minst fem gånger så stort som ånggenomgångsmotståndet på den kalla sidans materialskikt. Om detta inte uppnås skall en separat ångspärr finnas på den varma sidan av värmeisoleringen. Ångspärrens avsedda funktion är att hindra skadlig vattenångdiffusion in eller inuti konstruktionen. (ByggBS C2, 1998).*
- *Undantag för detta kan göras om man med erfarenhet eller provningar kan påvisa att konstruktionen är fukttekniskt funktionssäker. (ByggBS C2, 1998).*

6.1.3 Lättbalk

Lättbalkar är en hybrid mellan konstruktionsvirke som flänsar och träfiberskivor som liv. Tillsammans bildar dessa en I-profil som är stark, minimerar köldbryggor och har låg vikt.

I denna väggkonstruktion fungerar lättbalkarna som bärande konstruktion för isoleringen, vindsyddet, spikreglarna och fasadpanelen. Som kant för lättbalkarna används 18 mm OSB.

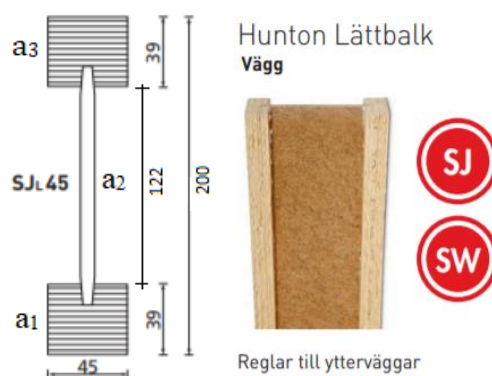
Som flänsar används på dessa fanerträ även kallat LVL (Laminated Veneer Lumber), vilket är en träskiva där faner blivit ihoplimmade i tunna skikt. Detta innebär att flänsen håller en hög och jämn kvalitet med bestämd hållfasthet. Som liv fungerar hårda träfiberskivor som blivit fasade till en V-fog och fastlimmade i frästa spår i flänsarna. Tillverkningen av dessa sker helautomatiskt i en fabriksmiljö och finns i flera dimensioner. (Hunton 2016a, s. 5).

Att använda lättbalkar i väggar ger en effektiv konstruktion med reducerade köldbryggor och låg vikt. Det breda utbudet av olika bredder möjliggör även anpassningsbara isoleringstjocklekar efter behov. Dimensionering av lättbalkar sker enligt Eurokod 5, men tillämpas i denna konstruktion enligt Huntons beräkningar för karakteristiska laster, dvs. verkliga lasternas effekt som verkar på byggdelen under brukstillståndet, (Bilaga 10).

Som lättbalk har valts:

Hunton Lättbalk, SJL45 – H200

- Vikt = 2,9 kg/lm
- Bredd = 200 mm
- Liv, 8 x 122 mm, $\lambda_2 = 0,18 \text{ W/mK}$, 900 kg/m^3
- Fläns, 45 mm. $\lambda_1 \text{ \& } 3 = 0,13 \text{ W/mK}$, 500 kg/m^3
- Max. karakteristisk last för 3 m: 57,3 kN / 28,6 kN
- Rekommenderat pris = 5,50 €/m (moms 0 %)



Figur 31. Lättbalk, SJL45. (Hunton, 2016a).

Total värmegenomgång för SJL45 – H200:

$$A_{\text{totalt}} := a_1 + a_2 + a_3 \quad A_{\text{totalt}} = 4.486 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\lambda_{\text{totalt}} := \left(\frac{a_1}{A_{\text{totalt}}} \cdot \lambda_1 \right) + \left(\frac{a_2}{A_{\text{totalt}}} \cdot \lambda_2 \right) + \left(\frac{a_3}{A_{\text{totalt}}} \cdot \lambda_3 \right)$$

$$\lambda_{\text{totalt}} = 0.141 \text{ W/mK}$$

6.1.4 Värmeisolering

I dagens samhälle med stigande energipriser och ökade klimatmål har kravet på värmeisoleringen ökat. Tanken är att med ett välisolerat klimatskal minska på energispillet. Transmissionsförluster genom byggnadsdelar baseras på skillnader i inne- och yttertemperaturen samt av värmegenomgångskoefficienten, U-värdet. Desto lägre U-värde en konstruktion har, desto bättre värmeisoleringsförmåga och mindre transmissionsförluster. (Strandberg 2015, s. 129).

Värmeledningsförmågan hos ett material anges med beteckningen lambda λ , ju lägre desto bättre. För att uppnå en tillräcklig värmeisolering i ytterväggar krävs en viss tjocklek på de isolerande materialskikten samt en tillräckligt låg värmeledningsförmåga för dessa. (Strandberg 2015, s. 130).

Vid beräkning av värmegenomgångskoefficienten skall man beakta alla de enskilda materialens värmeledningsförmåga och dess tjocklek. Vid beräkning av värmemotståndet R_T hos jämntjocka, homogena materialskikt när värmen överförs vinkelrätt, används:

$$R_T := R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_{se}$$

R_{si} = övergångsmotstånd insida, horisontellt: 0,13; uppåt: 0,10; nedåt: 0,17 [(m²K)/W].

R_{se} = övergångsmotstånd utsida, horisontellt; uppåt; nedåt: 0,04 [(m²K)/W].

De enskilda materialskiktens värmemotstånd beräknas enligt:

$$R := \frac{d}{\lambda_U}$$

d = Enskilda materials tjocklek [m]
 λ_U = Materialets värmeledningsförmåga [W/m²K]
 R = Enskilda materials värmemotstånd [(m²K)/W]

Den totala värmegenomgångskoefficienten U-värdet, definieras som inversen av det totala värmemotståndet för en byggnadsdel och regleras i byggbestämmelserna enligt kapitel 3.2.7.

Exempel:

Yttervägg inifrån sett:

$R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Gips 13 mm - 0,25 W/m²K

Träfiberisolering 200 mm - 0,038 W/m²K

Vindskydd 25 mm - 0,045 W/m²K

$R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

$$R_T := R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{se}$$

$$R_T = 6.041 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$U := \frac{1}{R_T}$$

$$U = 0.166 \text{ W/m}^2\text{K}$$

(ByggBS C4, 2003).

Som värmeisolering har valts **Hunton Nativo® Träfiberisolering Lösull**, vilken är en naturlig, förnyelsebar och träfiberbaserad isolering. Enligt tidigare nämnda fördelar kan den förbättra energibalansen i huset, med träets värmebevarande egenskaper samtidigt som den innehar fukthanterande egenskaper som bidrar till ett sunt och behagligt inomhusklimat. (Hunton 2017b, s. 1).

Fuktegenskaperna isoleringen innehar betyder att fukt kan tas upp, transporteras och avges naturligt. Detta på grund av att trä är ett hygroskopiskt material, som tidigare nämnts. Detta betyder att risken för kondensation inuti isolerade byggnadsdelar minskas då man använder en isolering som innehar dessa egenskaper. Dessutom bidrar detta till ett sunt inomhusklimat då fukten strävar efter att utjämnas med den omkringliggande luften. (Hunton 2017b, s. 6).

Fördelarna med träbaserade isoleringar betyder att beroendet av en tät ångspärr minskas jämfört med det allmänt använda isoleringsmaterialet, mineralull. Dessutom innehar mineralull en låg värmekapacitet, vilket gör att isoleringsmaterialet är känsligt för temperaturförändringar jämfört de träbaserade som innehar hög värmekapacitet. Detta innebär att träfiberbaserade isoleringsmaterial ger en stabilare inomhustemperatur vid varierande temperaturväxlingar, en värmemagasinerande effekt. (Hunton 2017b, s. 7).

Isoleringsmaterialet Nativo Träfiberisolering finns som både skivor och lösull, isoleringsmaterialet har i detta fall valts till lösull för att möjliggöra effektiv arbetsåtgång. Lösull blåses in i konstruktioner med en ullblåsare, vilket innebär att man får en tätare och jämnare isolering, undviker spill, minskar risken för köldbryggor och är upp till 10 gånger snabbare isoleringsmetod än att montera traditionella skivor. (Hunton 2017b, s. 15).

- Träfibrer av gran/furu, ca. 85 % och vatten, ca. 6–8 %
- Flamskyddat med ammoniumfosfat, ca. 6 %
- Mögelskyddat med borsyra, ca. 1,8 %
- Brandklass = E
- Densitet = 50 kg/m^3
- $S_{d 200 \text{ mm}} = \mu \cdot d = 1 \cdot 0,2 \text{ m} = 0,2 \text{ m}$
- Diffusionsmotståndsfaktor, $\mu = 1$
- Värmekonduktivitet, $\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$
- Rekommenderat pris = 40 €/m^3 (moms 0 %)



Figur 32. Nativo Lösull. (Hunton, 2017b).

6.1.5 Vindskydd

Vindskyddets funktion är att förhindra luft rörelser genom isoleringen orsakade av vinden. Dessa rörelser minskar isoleringsförmågan då konvektion uppstår. Funktionen för vindskyddet baserar sig på materialets lufttäthet men också på monteringen av skivorna, med tanke på tätheten mellan skivornas skarv och anslutningar. (Strandberg 2015, s. 131).

Vindskyddet har också den funktionen att det skyddar isoleringsmaterialet bakom från fukt, speciellt vid skedet innan den yttre beklädnaden monterats. Detta innebär att vindskyddet i en sådan situation bör klara av exponering gentemot fukt under en viss tid och inneha mögelskyddande egenskaper. (Strandberg 2015, s. 131).

Som vindskydd har valts 12 mm **Hunton Vindtät™**, en asfaltsbelagd, porös träfiberskiva. Skivan tål både väder och vind och skyddar isoleringen innan beklädnaden är på. Skivan är enkel att bearbeta och fungerar på samma gång som vindavstyvning till regelverket bakom, vilket oftast innebär att inga extra diagonalstag behövs. (Hunton 2016b, s. 4).

Vindskyddsskivan har isolerande egenskaper, vilket innebär att den även isolerar väggreglarna mot köldbryggor. Dessutom minskar den relativa ånghalten vid reglarnas yttre delar genom den temperaturökning vindskyddet ger upphov till. Den höga lufttätheten gör även att drag och kyla inte tränger in och kyler ner väggen. Skivan har som de tidigare nämnda materialen, hygroskopiska egenskaper. Dvs. förmågan att uppta och lagra en del av fukten så att denna inte tränger in i isoleringen, vilket minskar risken för fuktskador. Den lagrade fukten avges då förhållandena i den omkringliggande luften tillåter. Ytbehandlingen med asfalt gör dessutom skivan mindre benägen för mögel. (Hunton 2016b, s. 2, 6, 7).

- Tillverkad av flis från sågverk
- Sammanbundet med lignin
- Åldersbeständig och motståndskraftig
- Impregnerad med asfalt
- Tjocklek = 12 mm
- Vikt = 3,2 kg/m²
- Sd-värde = 0,2 m
- Värmekonduktivitet, $\lambda = 0,049 \text{ W/mK}$
- Rekommenderat pris: 3 €/m²



Figur 33. Vindtät. (Hunton, 2016b).

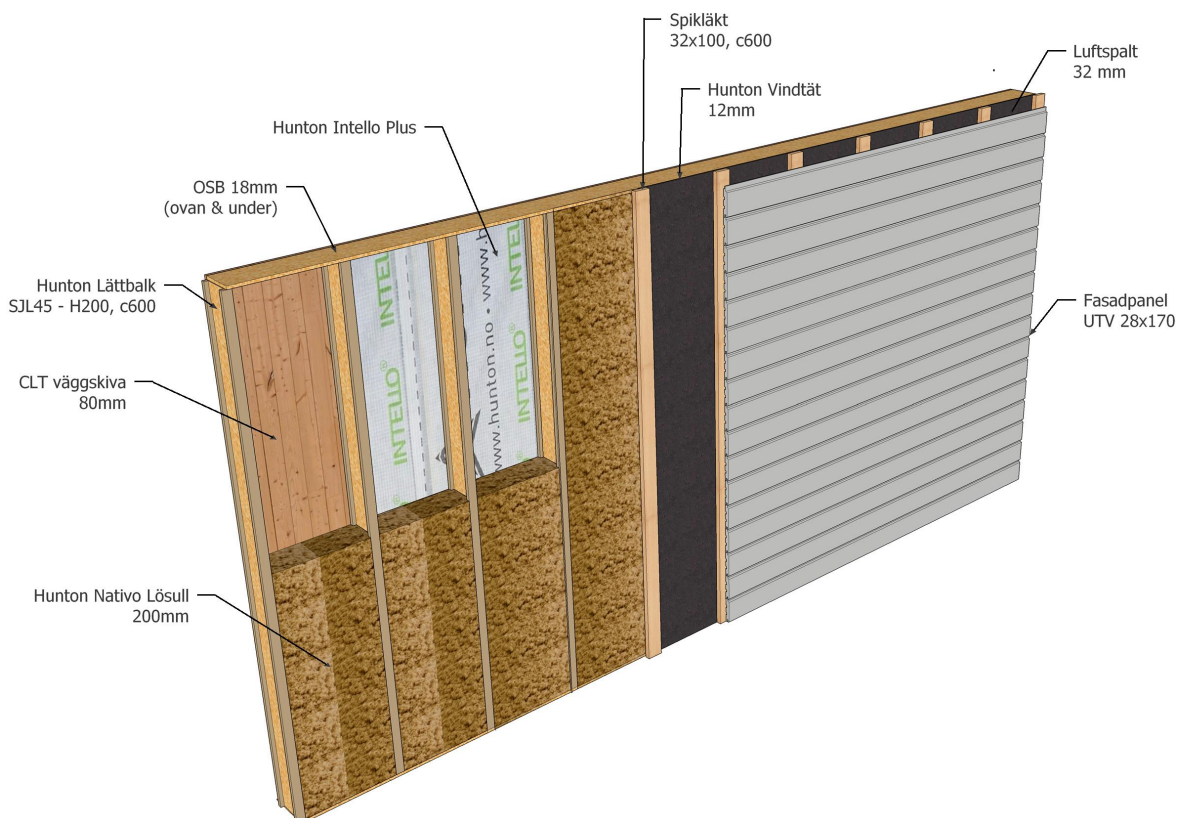
6.1.6 Fasadpanel

Fukttekniskt är det fördelaktigt med en luftspalt bakom fasadpanelen. Även om panelen avvisar den största delen vid regn, kan regnvatten tränga sig in mellan brädorna. Träpanelen i detta fall spikas på en vertikal läkt av 32x100, vilket ger en fungerande luftspalt utöver hela vägghöjden. I luftspalten kan fukten då ventileras eller rinna ner. (Strandberg 2015, s. 128).

Eftersom träpanelen är det yttersta väderskyddet är det också viktigt att träytan är ordentligt grundbehandlad och målad med en diffusionsöppen färg för att tillåta upptorkning. Dagens fasadfärger är oftast av täckande art, där det är extra viktigt med en bakomliggande luftspalt. Detta eftersom avdunstningen genom ytan delvis hindras på grund av målarfärgen, vilket innebär att fuktkvoten kan bli förhöjd under en längre tid, om fukten inte kan ventileras till den bakomliggande luftspalten. Om fuktkvoten hålls hög under en längre tid kan detta leda till fuktskador, vilket vanligen syns genom att fasadfärgen flagnar. (Johannesson 1992, s.62).

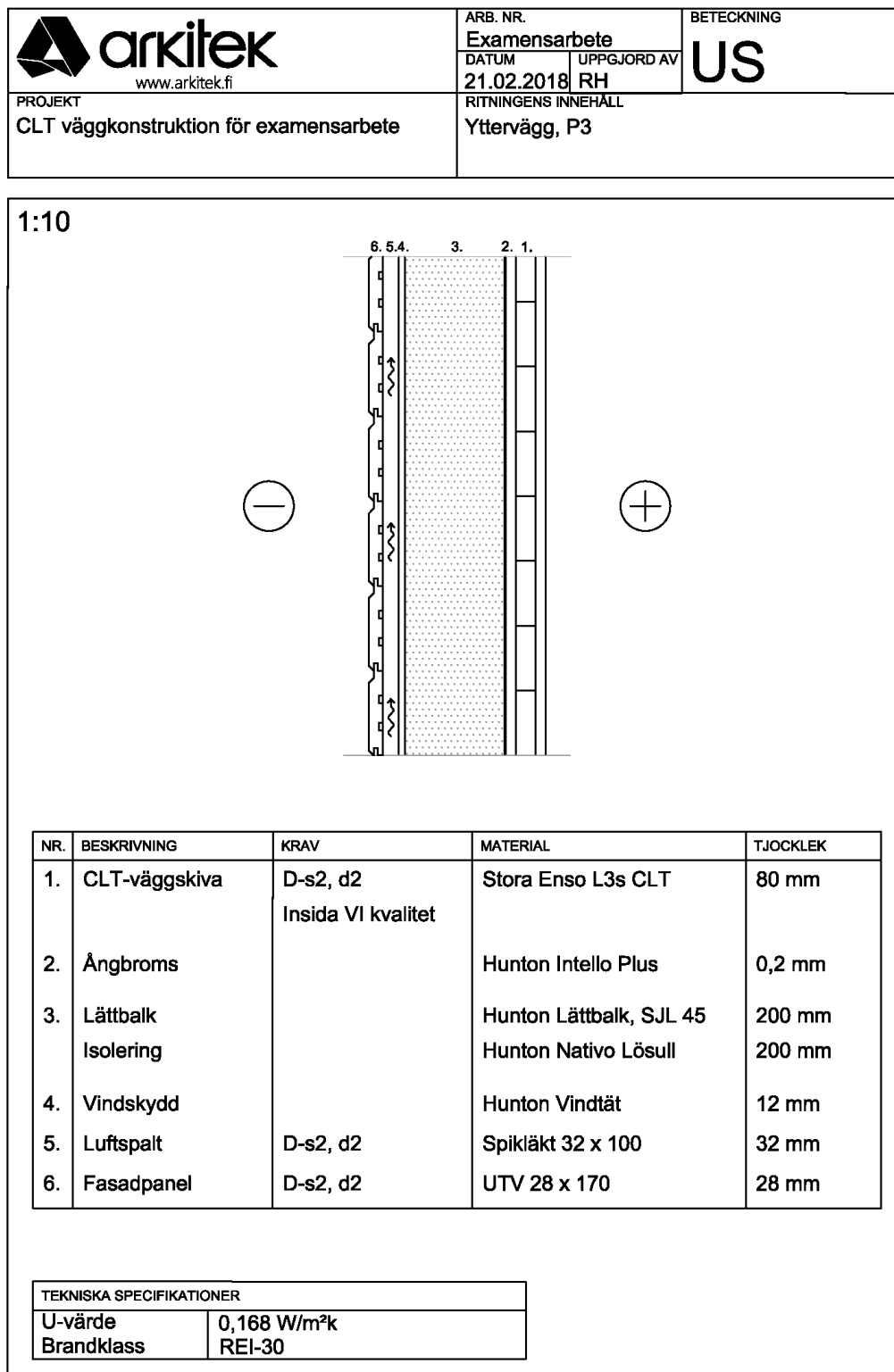
Fasadpanelen i denna väggkonstruktion har valts till grundmålet 28x170 UTV.

6.2 3D skärning



Figur 34. Skärning över väggkonstruktion, (Bilaga 16). (Holmgren, 2018).

6.3 2D skärning



Figur 35. Väggsärning. (Holmgren, 2018).

7 Analys och funktionsduglighet

Hållfastheten för den bärande väggskivan, bestående av CLT, skall beräknas för att kunna bestämma minsta erforderliga skivtjocklek, eftersom det styr prisnivån på CLT-skivorna.

Stora Enso är en av CLT-leverantörerna som valt att publicerat ett online-verktyg för dimensionering, utan kostnad. Verktyget heter *Calculatis by Stora Enso* och möjliggör i planeringsskedet att enkelt kunna pröva olika standard-skivtyper för det avsedda ändamålet. Onlineverktyget Calculatis erbjuder beräkningar för CLT-plattor, balkar, väggar med mera. (Stora Enso, 2018).

Förutom att väggkonstruktionen skall vara strukturellt funktionsduglig och klara av belastningarna den utsätts för, skall de byggnadsfysikaliska aspekterna beaktas. Dvs. med avseende på konstruktionens uppbyggnad, material, energihushållning och fuktsäkerhet. Denna typ av fördimensionering kan ske med program utformade för att analysera konstruktioners fuktillstånd och temperaturer, samt dess varaktigheter i kritiska tillstånd.

Som programvara har valts DOF-Lämpö 2.2 av D.O.F. tech Oy. Med programmet kan anpassas konstruktioner, vilka man senare kan analysera i temperatur- och fuktkurvor, s.k. ”Glaser diagram”. Där framkommer även eventuell kondensation och mängden kondens. Utöver fukttransporter kan även U-värden, energiförbrukning, vikt och prisuppgifter avläsas.

Till CLT-skivans fördel är den höga lufttätheten, med vilken klimatskalet inte kräver någon ytterligare luftspärr för att uppnå tillräcklig täthet gentemot skadliga luftströmmar. Även kravet för ångspärr uppfylls med en CLT-skiva då ånggenomgångsmotståndet på den varma sidan av isoleringen skall vara minst fem gånger den kalla sidans ånggenomgångsmotstånd. Detta betyder att CLT-konstruktioner borde kunna tillämpas utan ångspärr- eller ångbroms, då CLT-skivan i sig självt fungerar som en variabel ångbroms med över 5 gånger högre ånggenomgångsmotstånd än den kalla sidans materialskikt, dvs. i praktiken vindskyddet.

De tänkta materialen i denna konstruktion är också hygroskopiska, vilket innebär att de klarar av att hantera en viss uppfuktning och transporterar ångan naturligt. Detta genom att bära en del av fukten när det är fuktigt, vartefter den avges när det omgivande klimatet blir torrare. Således kan en konstruktion baserat på naturprodukter fungera utan täta ångspärrar, om inte fuktinnehållet överskrider den gräns materialen klarar av att hantera. En variabel ångbroms kan dock installeras i dessa konstruktioner för att försäkra tillräcklig lufttäthet och ånggenomgångsmotstånd, speciellt vid anslutningarna mellan CLT-skivor, golv och tak.

7.1 Hållfasthet

De laster som verkar på denna konstruktion fås antagande värden enligt Eurokod 5, samt beräkningar av klimatskalets egenvikt, (Bilaga 11). (Puuinfo, 2011).

De nedanstående lasterna är endast avsedda vid fördimensionering med Calculatis by Stora Enso. Utförliga beräkningar bör utföras före förverkligande av väggkonstruktionen, där även resten av konstruktionens egenskaper tas med, vilket ökar hållfastheten genom förstyvning.

För lastfallen antas en byggnad på $10 \times 17 \text{ m} = 170 \text{ m}^2$ vars belastning består av takets egenvikt $0,4 \text{ kN/m}^2$ och snözon $2,0 \text{ kN/m}^2$, vilka fördelas jämt över de längre ytterväggarna.

- Väggsnivans egenvikt = $1,2 \text{ kN/m}$
- Klimatskalets egenvikt = $1,0 \text{ kN/m}$
- Takets egenvikt = $0,4 \text{ kN/m}^2 = (68 \text{ kN} / 2) / 17 \text{ m} = 2,0 \text{ kN/m}$
- Snölast = $2,0 \text{ kN/m}^2 * \text{taklutningens inverkan } (0,8) = (272 \text{ kN} / 2) / 17 \text{ m} = 8,0 \text{ kN/m}$
- Vindlast = $0,6 \text{ kN/m}^2$

Beräkningar utförda i programmet Calculatis kan ses i bilaga 12. Nedanstående figur visar utnyttjandegrader för en 80 mm tjock CLT-skiva, där en strimla på $1 \times 3 \text{ m}$ undersöks.

Den största utnyttjandegraden för den undersökta skivan är i brottgränstillstånd (ULS) vid brand, 95 %. Beräkningen för detta utgår ifrån brandklass R 30, utan skyddande lager.



global utilization ratio						95 %
ULS	11 %	ULS fire	95 %	SLS	0 %	

Figur 36. Fördimensionering med Calculatis. (Stora Enso, 2018).

7.2 U-värde och fukttransport

För att utföra beräkningar i DOF-Lämpö krävs de olika materialskiktens egenskaper, dess tjocklek, information om eventuella köldbryggor och eventuellt deras prisuppgifter. Programmets resultat ger ett U-värde för konstruktionen, ångtransport genom diffusion samt ifall kondensation sker, vilket i allmänhet betraktas som en icke-fungerande konstruktion.

Programmet beaktar dock inte de hygroskopiska materialens fuktupptagande funktion, alltså den mängd fukt materialen absorberar och lagrar vid ökad fuktighet, vilket bör beaktas vid avläsning av resultatet. Detta ifall mängden kondens är relativt låg och de hygroskopiska materialen kan uppehålla fukten tills den utjämnats eller torkat ut genom konstruktionen.

Vid avläsning av resultatet skall beaktas eventuell kondensation och även materialens kritiska fuktillstånd, vilket ligger kring $>75\%$ RH vid en temperatur över $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Som kontrollögonblick för rådande temperatur och luftfuktighet används programmets medföljande klimatdata för Vasa. Även vad som sker vid omvänd fuktvandring kontrolleras. Som standard för värme- och fukttransportberäkningar kan användas SFS-EN 15026.

Beräkningar utförs genom att först välja konstruktionens riktning och övergångsmotstånd för in- och utsida. Sen läggs de olika skikten in med dess egenskaper, enligt position. De yttre skikten, luftspalt och fasadpanel, beaktas inte i beräkningen enligt ByggBS C4 (2003).

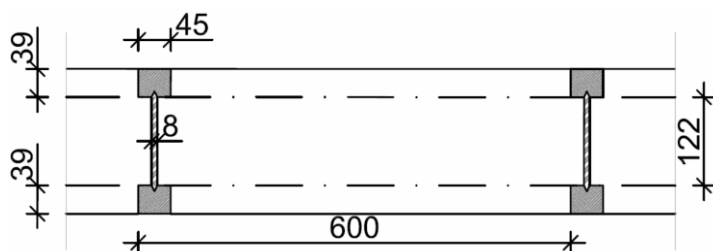
För att hantera köldbryggor en lättbalk orsakar, delas isoleringsskiktet i mindre delar enligt lättbalkens olika delar, (Figur 37–39). Detta eftersom lättbalkens liv och flänsar innehar olika tjocklekar och egenskaper, vilka bildar ett ofullständigt tvärsnitt för köldbryggan.

Lättbalkens flänsar, ($45\text{ mm} \times 39\text{ mm}$, $0,13\text{ W/m}^2\text{K}$ – 500 kg/m^3) utgör vardera skikt på:

39 mm isolering och köldbryggans andelar på c600 blir: $\frac{45\text{ mm}}{600\text{ mm}} = 0,075 = 7,5\%$

Lättbalkens liv, ($8\text{ mm} \times 122\text{ mm}$, $0,18\text{ W/m}^2\text{K}$ – 900 kg/m^3) utgör ett skikt på 122 mm

isolering och köldbryggans andel på c600 blir: $\frac{8\text{ mm}}{600\text{ mm}} = 0,013 = 1,3\%$



Figur 37. Köldbryggornas skikt i isoleringen. (Holmgren, 2018).

Följande material och egenskaper har undersökts i DOF-Lämpö:

Skikt Insida	Material	Tjocklek [mm]	Värmeledning [W/m ² K]	Änggenomgångsmotstånd S _d [m]	Pris [€/m ³]	Vikt [kg/m ³]
1	Stora Enso CLT C3s	80	0.13	3.84	500	500
2	Hunton Intello Plus	0,2	0.17	7.5	2000	550
3	Hunton Nativo Lösull	39	0.038	0.039	40	50
4	Hunton Nativo Lösull	122	0.038	0.122	40	50
5	Hunton Nativo Lösull	39	0.038	0.039	40	50
6	Hunton Vindtät	12	0.049	0.2	250	267
7	Ventilerad luftspalt, spikläkt c600	32	Ej beaktad i beräkning		44	74
8	Fasadpanel, grundmålat UTV 28x170	28	Ej beaktad i beräkning		513	430

Utsida

Figur 38. Materialspecifikationer för DOF-Lämpö. (Holmgren, 2018).

DOFLÄMPÖ 2.2: C:\Users\Robin\Desktop\dof\CLT.LAM

Tiedosto Rakennetiedot Tarkasteluohjelma Asetukset Tietokannat Ohje

Mitä haluat laskea:
Eurokoodin mukaisia U-arvoja ja kosteuskäyttymistä

Rakennetiedot Tarkasteluohjelma Tulokset Lisätiedot

Lisää kerros... Muuta kerros... Poista kerros Pintavastukset...

U S

Tieto:	Arvo:
U-arvo:	0.168 W/m ² K
Pintavastus, ulko (U):	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä (S):	0.130 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paksuus:	352.200 mm
Vesihöyryn vastus:	1.631e+04 m ² hPa/g
Vesih.läpäisykerroin:	6.133e-05 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	5.938 m ² K/W
Paino:	69.30 kg
Hinta:	67.22 euro

Nro:	Kerros:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHV [m]	Hinta [euro/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	Kylmäsilta:	Laskennassa:
1	Fasadpanel UTV 28x120	28.00	0.1200	1.584000e+00	513.00	430.00	EI	EI
2	Ventilerad luftspalt, spikläkt c600	32.00	10.0000	2.304000e-06	44.00	74.00	EI	EI
3	Hunton Vindtät	12.00	0.0490	2.000000e-01	250.00	267.00	EI	ON
4	Hunton Nativo Lösull	39.00	0.0380	3.900000e-02	40.00	50.00	ON	ON
5	Hunton Nativo Lösull	122.00	0.0380	1.220000e-01	40.00	50.00	ON	ON
6	Hunton Nativo Lösull	39.00	0.0380	3.900000e-02	40.00	50.00	ON	ON
7	Hunton Intello Plus	0.20	0.1700	7.500000e+00	2000.00	550.00	EI	ON
8	Stora Enso CLT C3s	80.00	0.1300	3.840000e+00	500.00	470.00	EI	ON
*								

U = 0.168 W/m²K

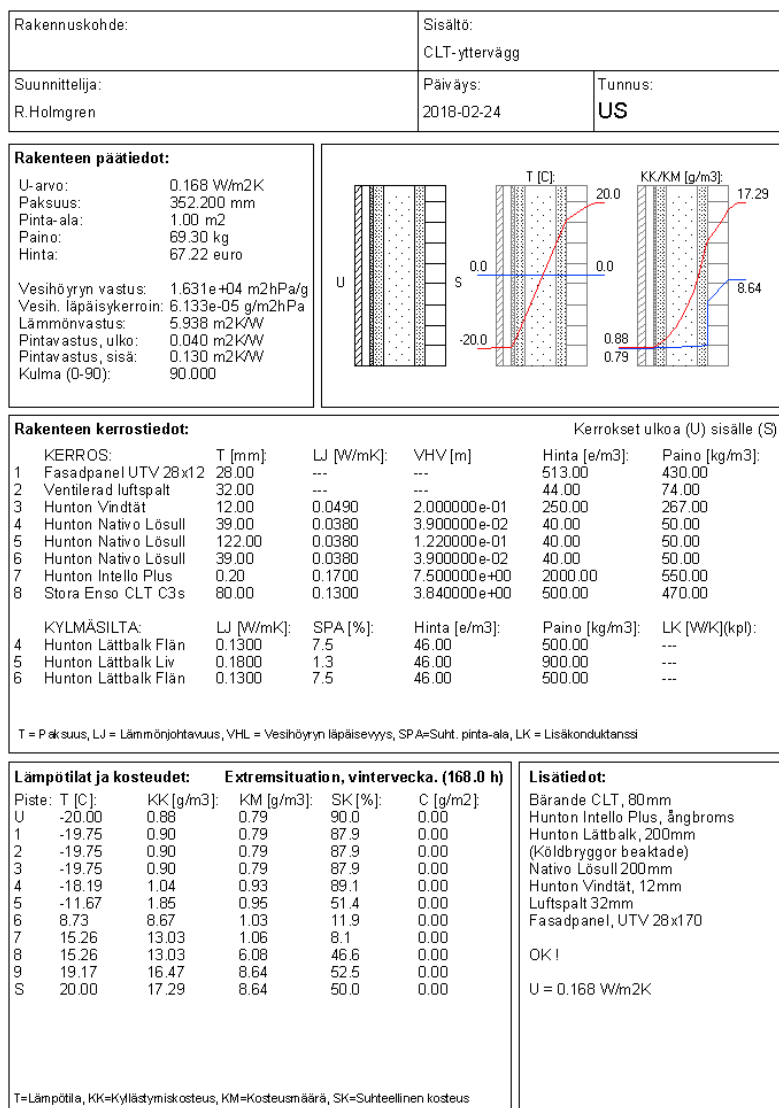
Figur 39. DOF-Lämpö 2.2, överblick över byggnadsdelarna. (D.O.F. tech Oy, 2018).

Nedan ges resultatet för en Extremsituation under en vintervecka, med ångbroms. Utan ångbroms ger konstruktionen en kondens på 13,4 g/m² per vecka innanför vindskyddet. Under övriga perioder samt omvänd fuktvandring förekommer ingen kondensation eller kritiska fukttillstånd som kunde orsaka skador i konstruktionen, (Bilaga 13).

Kondensationen under de extrema förhållandena är i förhållande till uttorkningen liten och någon fara för konstruktionen föreligger inte utan ångbroms, då konstruktionen kan torka under samma årstid vid normala förhållanden. Beräkning av uttorkning kan ses i bilaga 14.

Resultat med kondensation betyder, speciellt med hygroskopiska material, inte att skadeproblem uppstår, så länge mängden kondens hålls relativt låg och fukten tillåts torka efter perioder med högre fuktpåfrestning. Dock bör konstruktionen säkerställa en god fuktteknisk funktion och man kan använda ångbroms som gardering mot Extremsituationer.

Resultat från DOF-Lämpö, kan ses i bilaga 13.



Figur 40. DOF-Lämpö resultat över granskad konstruktion. (D.O.F. tech Oy, 2018).

8 Kostnadskalkyl

Priserna i dessa kostnadskalkyler baserar sig på rekommenderade priser av återförsäljare. Enheterna för arbete är baserade på Rakennustöiden menekit 2015 och Rakennusosien kustannuksia 2015, samt uppföljningskalkyler utförda av företaget Arkitek Oy Ab.

Tabell 21. Kostnadskalkyl, jämförelseobjekt för yttervägg.

Beskrivning	Mängd	Enhet	ARBETE			KK1	KK2	ARB. Σ	MATE. Σ
			T4	MTF	H	€/enh.	€/enh.	€	€
Gips (13mm)	1	m2	0.18	16	0.18	2.88	4.82	2.88	4.82
Värmeisolering (50mm)	1	m2	0.07	16	0.07	1.12	3.63	1.12	3.63
Ångspärr (0.2mm)	1	m2	0.09	16	0.09	1.44	1.30	1.44	1.30
Värmeisolering (150mm)	1	m2	0.07	16	0.07	1.12	9.16	1.12	9.16
Stomme c600 (150+50mm)	1	m2	0.83	16	0.83	13.20	9.88	13.20	9.88
Vindskydd+luftspalt (12+32mm)	1	m2	0.11	16	0.11	1.76	3.40	1.76	3.40
Fasadpanel (28 x 170mm)	1	m2	0.57	16	0.57	9.15	15.09	9.15	15.09

Tidsåtgång	1.92	h/m2
Arbetskostnader	30.67	€/m2
Materialkostnader	47.28	€/m2
Totalkostnad	77.95	€/m2

T4 = Helhetstid (Arbetskredestid)
 MTF = Medeltimförtjänst
 KK1 = Kostnadsklass 1, arbetskostnader.
 KK2 = Kostnadsklass 2, materialkostnader.

(Holmgren, 2018).

Tabell 22. Kostnadskalkyl, CLT-baserad yttervägg.

Beskrivning	Mängd	Enhet	ARBETE			KK1	KK2	ARB. Σ	MATE. Σ
			T4	MTF	H	€/enh.	€/enh.	€	€
CLT C3S (80mm)	1	m2	0.10	16	0.10	1.60	40.00	1.60	40.00
Ångbroms (0.2mm)	1	m2	0.09	16	0.09	1.44	4.50	1.44	4.50
Lättbalk + OSB (200mm)	1	m2	0.26	16	0.26	4.16	16.20	4.16	16.20
Lösull (200mm)	1	m2	0.03	16	0.03	0.48	8.00	0.48	8.00
Vindskydd+luftspalt (12+32mm)	1	m2	0.11	16	0.11	1.76	3.40	1.76	3.40
Fasadpanel (28 x 170mm)	1	m2	0.67	16	0.67	10.72	15.09	10.72	15.09

Tidsåtgång	1.26	h/m2
Arbetskostnader	20.16	€/m2
Materialkostnader	87.19	€/m2
Totalkostnad	107.35	€/m2

T4 = Helhetstid (Arbetskredestid)
 MTF = Medeltimförtjänst
 KK1 = Kostnadsklass 1, arbetskostnader.
 KK2 = Kostnadsklass 2, materialkostnader.

(Holmgren, 2018).

Tabell 23. Differens mellan jämförelseobjekt och CLT-baserad.

	Jämförelse YV		CLT-baserad YV		Differens CLT	
Tidsåtgång	1.92	h/m2	1.26	h/m2	- 0.66	h/m2 (- 34.3%)
Arbetskostnader	30.67	€/m2	20.16	€/m2	- 10.51	€/m2 (- 34.3%)
Materialkostnader	47.28	€/m2	87.19	€/m2	+ 39.91	€/m2 (+ 45.8%)
Totalkostnad	77.95	€/m2	107.35	€/m2	+ 29.40	€/m2 (+ 27.4%)

(Holmgren, 2018).

9 Sammanfattning

Enligt de krav som ställs av ByggBS uppfyller den presenterade väggkonstruktionen de krav som förutsätts för småhus. Även den fukttekniska analysen utförd med hjälp av DOF-Lämpö påvisar att väggkonstruktionen uppfyller de kriterier som ställts och anses funktionsduglig. Med tanke på framtida krav på klimatskalet, kan även isoleringen ökas utan problematik.

En väggkonstruktion med CLT som bärande stomme och resterande struktur av träbaserade produkter ger en konstruktion som innehar hög hållfasthet, lång livscykel och är fullständigt hygroskopisk, vilket förebygger de skadeproblem vi upplever kring konstruktioner idag. Även inomhusmiljön borde bli bättre med en konstruktion baserad på dessa material, med bättre värme- och fuktlagringsförmåga. Vilket borde ge gynnsamma förutsättningar för sänkt energiförbrukning i form av lägre ventilation och uppvärmningskostnader.

Eftersom CLT erbjuder hög prefabricering och snabbt monteringsförfarande på byggarbetsplatsen, tillåter detta att totalkostnaden för en CLT-baserad väggkonstruktion kan konkurrera med de allmänt använda väggkonstruktionerna som istället tar längre att montera. Kostnadskalkylerna som är presenterade i detta arbete, ger en fingervisning över skillnaden.

Kostnadskalkylen påvisar att en väggkonstruktion med CLT som stomme och naturliga material med hygroskopiska egenskaper, ligger i en högre prisklass än de allmänt använda väggkonstruktionerna vi ser idag. Detta då materialkostnaderna för dessa oftast är dyrare. Med avseende på den ringa merkostnaden kan denna konstruktion mycket väl vara ett alternativ att introducera på marknaden och för dem som vill bygga ”hälsosamma hus”.

En fortsättning på examensarbetets resultat kan vara att förverkliga konstruktionen och analysera de verkliga kostnaderna och byggnadsfysikaliska egenskaperna för ett småhus.

Examensarbetet har varit lärorikt med tanke på de materialval, beräkningar och analyser som utförts. Dessutom tangerar arbetet de områden som i allra högsta grad är aktuella bland fackmän och lekmän när de bygger eller renoverar för framtiden. Detta med tanke på de missuppfattningar som allmänt florerar kring ”andande konstruktioner”, då detta förknippas med lufttätheten istället för materialens förmåga att uppta och transportera fukt i ångfas.

Tack till den hjälp jag fått av handledaren, beställaren, återförsäljare samt DOF-Tech Oy.

Källförteckning

Adolfi, B., 2002. *Välja isolering – Vilka är riskerna?*

[Online] <http://byggnadsvard.se> [hämtat: 3.11.2017].

Boverket, 2017. *Hållbart byggande och förvaltning.*

[Online] www.boverket.se [hämtat: 2.11.2017].

Burström, P-G., 2006. *Byggnadsmaterial – Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper.*

Lund: Studentlitteratur.

Byggnadskalendern, 2013. Svenska Byggmästare- och Ingenjörsförbundet YH i Finland r.f.

Vasa: Oy Fram Ab.

D.O.F. tech Oy, 2018. *DOF-Lämpö 2.2.*

[Online] www.doftech.com [hämtat: 31.1.2018].

Eriksson, O., 2017. *Fuktsäkra parallelltak – En studie av risken för mögelpåväxt i parallelltak med variabel ångbroms.*

[Online] www.byfy.lth.se [hämtat: 16.2.2018].

Europeiska unionen, (u.å.). *Klimatåtgärder.*

[Online] <https://europa.eu> [hämtat: 8.11.2017].

FNB. *Byggutbildningen glömde de gamla husen.* Vasabladet, 30.1.2016.

[Online] www.vasabladet.fi [hämtat: 2.11.2017].

Fuktcentrum, 2015. *ByggaF-metoden.*

[Online] www.fuktcentrum.lth.se [hämtat: 31.1.2018].

Hoisko, 2017. *Varför HOISKO CLT?*

[Online] www.hoisko.fi [hämtat: 10.2.2018].

Hunton, 2016a. *Lättbalk – Teknisk Handbok.*

[Online] <https://hunton.se> [hämtat: 20.2.2018].

Hunton, 2016b. *Vindtät – Undvik fukt, drag och kyla.*

[Online] <https://hunton.se> [hämtat: 20.2.2018].

Hunton, 2017a. *Intello Plus – Effektiv variabel ångbroms.*

[Online] <https://hunton.se> [hämtat: 19.2.2018].

Hunton, 2017b. *Nativo träfiberisolering – Handbok för energi- och miljöriktig byggnadsisolering.*

[Online] <https://hunton.se> [hämtat: 20.2.2018].

Huttunen, J., (u.å.). *Rakennusfysiikkaohjelmat rakenteiden toiminnan analysoinnissa.*

[Online] www.betoniyhdistys.fi [hämtat: 13.2.2018].

Johannesson, C-M., 1992. *Träbyggnadshandbok 3.*

Malmö: Tryckeriteknik i Malmö AB.

Johansson, P., 2003. *Mögel på nytt och begagnat byggnadsvirke.*

[Online] www.diva-portal.org [hämtat: 23.1.2018].

Kaski, C., 2017. *Nya verksamhetssätt ska minska fukt- och mögelproblem.* Svenska Yle 16.03.2017.

[Online] <https://svenska.yle.fi> [hämtat: 6.2.2018].

Konstruktionssäkerhet RF., (u.å.). *Ett hälsosamt hus "andas" inte.*

[Online] www.rakenneturvallisuus.fi [hämtat: 2.11.2017].

Kuivaketju10, 2017. *Kuivaketju10-riskilista.*

[Online] <http://kuivaketju10.fi> [hämtat: 6.2.2018].

Künzel, H. M., 1995. *Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components.*

[Online] <https://wufi.de> [hämtat: 16.2.2018].

Lensu, H., *Suomen suurin clt-tehdas käynnistyy Alajärvellä.* Maaseudun tulevaisuus, 26.1.2017.

[Online] www.maaseuduntulevaisuus.fi [hämtat: 11.2.2018].

Martinsons, 2016. *Martinsons handbok i KL-trä.*

[Online] www.martinsons.se [hämtat: 10.2.2018].

Massiv-Holz-Meier, 2018. *Building material MHM.*

[Online] www.massivholzmauer.de [hämtat: 12.2.2018].

Mattfolk, M., 2017. *Malax satsar på fuktsäkert byggande.* Svenska Yle 18.09.2017.

[Online] <https://svenska.yle.fi> [hämtat: 31.1.2018].

Miljöförvaltningen, 2013a. *Byggnadens hälsosamhet och tillgänglighet.*

[Online] www.ymparisto.fi [hämtat: 2.11.2017].

Miljöförvaltningen, 2013b. *Byggnadens energi- och ekoeffektivitet*.
[Online] www.ymparisto.fi [hämtat: 2.11.2017].

Miljöministeriet, 2013b. *Nationell klimatpolitik*.
[Online] www.ym.fi [hämtat: 8.11.2017].

Novia - Forskning och utveckling, 2016. *Fuktmekanik och fuktkällor*.
[Online] www.youtube.com [hämtat: 10.11.2017].

Paroc, (u.å.). *Brandklassificering*.
[Online] www.paroc.se [hämtat: 14.2.2018].

Petersson, B-Å., 2013. *Tillämpad byggnadsfysik*.
Lund: Studentlitteratur.

Puuinfo, 2011. *Puurakenteiden suunnittelu Lyhennetty suunnitteluohje – Eurokoodi 5*.
[Online] www.puuinfo.fi [hämtat: 21.2.2018].

Rakennustieto, 2005. *Bygginfo*.
[Online] www.rakennustieto.fi [hämtat: 7.11.2017].

Rakennustieto Oy. 2014. *Rakennustöiden menakit 2015*.
Tampere: Tammerprint Oy.

Rakennustieto Oy. 2015. *Rakennusosien kustannuksia 2015*.
Helsinki: Lönnberg Print & Promo.

Samuelson, I., 2002. *Byggde man bättre förr?* Bygg & teknik 2/02.
[Online] www.fuktcentrum.lth.se [hämtat: 30.1.2018].

SRV, 2017. *Wood City on ollut esillä mediassa*.
[Online] www.srv.fi [hämtat: 17.2.2018].

Statistikcentralen, (u.å.). *Begrepp och definitioner*.
[Online] <http://tilastokeskus.fi> [hämtat: 9.2.2018].

Statistikcentralen, 2017a. *Tabellbilaga 4. Byggnader efter byggnadsmaterial 1960 – 2016*.
[Online] www.stat.fi [hämtat: 9.1.2018].

Statistikcentralen, 2017b. *Bostäder och boendeförhållanden*.
[Online] www.stat.fi [hämtat: 23.1.2018].

Stora Enso, 2012. *B Layer structure*.

[Online] www.clt.info [hämtat: 16.2.2018].

Stora Enso, 2013. *Ljudisolering*.

[Online] www.clt.info [hämtat: 20.3.2018].

Stora Enso, 2016. *Suoritustasoilmoitus CLT/2015/01*.

[Online] www.clt.info [hämtat: 13.2.2018].

Stora Enso, 2017. *Teknisk broschyr*.

[Online] www.clt.info [hämtat: 11.2.2018].

Stora Enso, 2018. *Calculatis*.

[Online] <https://calculatis.clt.info/> [hämtat: 19.2.2018].

Strandberg, B., 2015. *Bygga hus – Illustrerad bygglära*.

Lund: Studentlitteratur.

Svenskt Trä, 2017. *Dimensionering av KL-träkonstruktioner*.

[Online] www.youtube.com [hämtat: 19.2.2018].

Svenskt Trä, 2017. *KL-trähandbok, Fakta och projektering av KL-träkonstruktioner*.

[Online] www.svenskttra.se [hämtat: 11.2.2018].

Tampereen teknillinen yliopisto, 2017. *Suomalainen homemalli*.

[Online] www.tut.fi [hämtat: 12.2.2018].

VTT, 2013. *Kosteusteknisesti toimivia korjausrakentamisen periaateratkaisuja*.

[Online] www.vtt.fi [hämtat: 13.2.2018].

WUFI, 2018.

[Online] <https://wufi.de/en/> [hämtat: 20.3.2018].

X-fix, 2016.

[Online] www.x-fix.at [hämtat: 17.2.2018].

Finlands författningssamling

Finlands byggbestämmelsesamling E1. *Byggnaders brandsäkerhet* (6.4.2011).

[Online] www.edilex.fi/ [hämtat: 15.2.2018].

Finlands byggbestämmelsesamling C1. *Ljudisolering och bullerskydd i byggnad*.

[Online] www.ym.fi [hämtat: 20.3.2018].

Finlands byggbestämmelsesamling C2. *Fukt* (9.9.1998).

[Online] www.ym.fi [hämtat: 8.11.2017].

Finlands byggbestämmelsesamling C4. *Värmeisolering* (30.10.2002).

[Online] www.finlex.fi [hämtat: 8.11.2017].

Finlands byggbestämmelsesamling D3. *Byggnaders energiprestanda* (30.3.2011).

[Online] www.finlex.fi [hämtat: 8.11.2017].

Finlands byggbestämmelsesamling 848/2017. *Byggnaders brandsäkerhet* (12.12.2017).

[Online] www.ym.fi [hämtat: 14.2.2018].

Lag om ändring av energieffektivitetslagen (21.12.2016/1338).

[Online] www.finlex.fi [hämtat: 8.11.2017].

Markanvändnings- och byggförordningen (10.9.1999/895).

[Online] www.finlex.fi [hämtat: 2.11.2017].

Markanvändnings- och bygglag (5.2.1999/132).

[Online] www.finlex.fi [hämtat: 2.11.2017].

Miljöministeriet, 2013a. *Markanvändnings- och bygglagen*.

[Online] www.ym.fi [hämtat: 7.11.2017].

Miljöministeriet, 2016a. *Finlands byggbestämmelsesamling*.

[Online] www.ym.fi [hämtat: 7.11.2017].

Miljöministeriet, 2016b. *Sunda byggnader*.

[Online] www.ym.fi [hämtat: 2.11.2017].

Miljöministeriet, 2016c. *Energiprestanda*.

[Online] www.ym.fi [hämtat: 8.11.2017].

XVII Mättnadsånghalt g/m³ för var 1/10 °C

°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
-20	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.85	0.84	0.83	0.82	0.82
-19	0.97	0.96	0.95	0.94	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89
-18	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98
-17	1.16	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11	1.10	1.09	1.08	1.07
-16	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.20	1.19	1.18	1.17
-15	1.39	1.38	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32	1.30	1.29	1.28
-14	1.52	1.50	1.49	1.48	1.46	1.45	1.44	1.43	1.41	1.40
-13	1.65	1.64	1.63	1.61	1.60	1.58	1.57	1.56	1.54	1.53
-12	1.80	1.79	1.77	1.76	1.74	1.73	1.71	1.70	1.68	1.67
-11	1.97	1.95	1.93	1.92	1.90	1.88	1.87	1.85	1.83	1.82
-10	2.14	2.12	2.10	2.09	2.07	2.05	2.03	2.02	2.00	1.98
-9	2.33	2.31	2.29	2.27	2.25	2.23	2.21	2.20	2.18	2.16
-8	2.53	2.51	2.49	2.47	2.45	2.43	2.41	2.39	2.37	2.35
-7	2.75	2.73	2.71	2.69	2.66	2.64	2.62	2.60	2.58	2.55
-6	2.99	2.97	2.94	2.92	2.89	2.87	2.85	2.82	2.80	2.78
-5	3.25	3.22	3.19	3.17	3.14	3.12	3.09	3.07	3.04	3.02
-4	3.52	3.50	3.47	3.44	3.41	3.38	3.36	3.33	3.30	3.27
-3	3.82	3.79	3.76	3.73	3.70	3.67	3.64	3.61	3.58	3.55
-2	4.14	4.11	4.08	4.04	4.01	3.98	3.95	3.91	3.88	3.85
-1	4.49	4.45	4.42	4.38	4.35	4.31	4.28	4.24	4.21	4.17
-0	4.85	4.82	4.78	4.74	4.71	4.67	4.63	4.59	4.56	4.52
0	4.85	4.88	4.91	4.95	4.98	5.02	5.05	5.09	5.12	5.16
1	5.19	5.23	5.27	5.30	5.34	5.37	5.41	5.45	5.49	5.52
2	5.56	5.60	5.64	5.68	5.71	5.75	5.79	5.83	5.87	5.91
3	5.95	5.99	6.03	6.07	6.11	6.16	6.20	6.24	6.28	6.32
4	6.37	6.41	6.45	6.49	6.54	6.58	6.62	6.67	6.71	6.76
5	6.80	6.85	6.89	6.94	6.99	7.03	7.08	7.13	7.17	7.22
6	7.27	7.32	7.36	7.41	7.46	7.51	7.56	7.61	7.66	7.71
7	7.76	7.81	7.86	7.91	7.96	8.01	8.07	8.12	8.17	8.22
8	8.28	8.33	8.39	8.44	8.49	8.55	8.60	8.66	8.71	8.77
9	8.83	8.88	8.94	9.00	9.06	9.11	9.17	9.23	9.29	9.35
10	9.41	9.47	9.53	9.59	9.65	9.71	9.77	9.83	9.90	9.96
11	10.02	10.08	10.15	10.21	10.28	10.34	10.40	10.47	10.54	10.60
12	10.67	10.73	10.80	10.87	10.94	11.00	11.07	11.14	11.21	11.28
13	11.35	11.42	11.49	11.56	11.63	11.71	11.78	11.85	11.92	12.00
14	12.07	12.15	12.22	12.30	12.37	12.45	12.52	12.60	12.68	12.75
15	12.83	12.91	12.99	13.07	13.15	13.23	13.31	13.39	13.47	13.55
16	13.63	13.72	13.80	13.88	13.96	14.05	14.13	14.22	14.30	14.39
17	14.48	14.56	14.65	14.74	14.83	14.91	15.00	15.09	15.18	15.27
18	15.36	15.46	15.55	15.64	15.73	15.83	15.92	16.01	16.11	16.20
19	16.30	16.40	16.49	16.59	16.69	16.79	16.88	16.98	17.08	17.18
20	17.28	17.38	17.49	17.59	17.69	17.79	17.90	18.00	18.11	18.21
21	18.32	18.42	18.53	18.64	18.75	18.86	18.96	19.07	19.18	19.30
22	19.41	19.52	19.63	19.74	19.86	19.97	20.09	20.20	20.32	20.43
23	20.55	20.67	20.79	20.90	21.02	21.14	21.26	21.38	21.51	21.63
24	21.75	21.87	22.00	22.12	22.25	22.37	22.50	22.63	22.75	22.88
25	23.01	23.14	23.27	23.40	23.53	23.67	23.80	23.93	24.07	24.20
26	24.34	24.47	24.61	24.74	24.88	25.02	25.16	25.30	25.44	25.58
27	25.72	25.87	26.01	26.15	26.30	26.44	26.59	26.74	26.88	27.03
28	27.18	27.33	27.48	27.63	27.78	27.94	28.09	28.24	28.40	28.55
29	28.71	28.87	29.02	29.18	29.34	29.50	29.66	29.82	29.98	30.15
30	30.31	30.47	30.64	30.80	30.97	31.14	31.31	31.48	31.65	31.82

1. CLT

CLT – Cross Laminated Timber



Märkdata

Användning	Företrädesvis som skivor för väggar, innertak och yttertak i bostadshus och andra objekt.
Maximal skivbredd	2,95 m
Maximal skivlängd	16,00 m
Maximal skivtjocklek	400 mm
Skivuppbyggnad	Minst tre skikt med korsvis limmade enkelskiktsskivor. Från och med fem skikt kan CLT även innehålla inre skikt (tvärsikt) utan limmad smalsida.
Träslag	Gran (furu, lärk och silvergran efter förfrågan; mellansikt kan innehålla furu)
Sorteringsklass rålamell	C24 (i enlighet med godkännandet kan upp till av 10 % lamellerna motsvara sortering C16; andra sorteringsklasser efter förfrågan).
Träfuktighet	12 % ± 2 %
Lim	Limmer utan formaldehyd för limning av smalsida, fingerskarvar och ytilimning.
Optisk kvalitet	icke visuell yta (NVI), Industriell visuell yta (IVI), Visuell yta (VI); ytorna är alltid slipade på båda sidor.
Egenvekt	För beräkning av transportvikten: ca 470 kg/m³.
Brandklass	I enlighet med kommissionens beslut 2003/43/EG: • träbyggnadsdelar (utom golv) ● Euroklass D-s2, d0 • golv ● Euroklass Dfl-s1
Värmeledningsförmåga λ	0,13 W/(mK)
Lufttäthet	CLT-skivor tillverkas av minst tre skikt med korsvis limmade enkelskiktsskivor, vilket gör att de är mycket lufttäta. Lufttätheten hos en CLT-skiva med 3 skikt har testats enligt EN 12 114 och det konstaterades att volymströmmarna ligger utanför det mätbara området.
Nyttjandeklass användningsområden	Enligt EN 1995-1-1 användbar i klasserna 1 och 2.

(Stora Enso, 2017).

Uppbyggnad av ytterväggar i CLT

Beklädnad insida	Installationsplan	Korslimmat massivträ		Beklädnad utsida	Provlast	Klassificering i→o
		Beteckning	Lamellkonstruktion [mm]		[kN/m]	
12,5 mm brand-skyddsskivor i gips	—	CLT 100 C3s	30–40–30	50 mm träullsplatta 15 mm puts	35	REI 90
12,5 mm brand-skyddsskivor i gips	—	CLT 100 C3s	30–40–30	80 mm stenull, 4 mm puts	35	REI 90
12,5 mm brand-skyddsskivor i gips	—	CLT 100 C5s	20–20–20–20–20	50 mm träullsplatta 15 mm puts	35	REI 90
12,5 mm brand-skyddsskivor i gips	—	CLT 100 C5s	20–20–20–20–20	80 mm stenull, 4 mm puts	35	REI 90
12,5 mm brand-skyddsskivor i gips	40 mm mineralull	CLT 100 C3s	30–40–30	50 mm träullsplatta 15 mm puts	35	REI 90
12,5 mm brand-skyddsskivor i gips	40 mm mineralull	CLT 100 C3s	30–40–30	80 mm stenull, 4 mm puts	35	REI 90

Klassificering av provade byggelement

Uppbyggnad av väggar i CLT

Beklädnad	Installationsplan	Korslimmat massivträ		Provlast	Klassificering i→o
		Beteckning	Lamellkonstruktion [mm]	[kN/m]	
—	—	CLT 100 C3s	30–40–30	35	REI 60
—	—	CLT 100 C5s	20–20–20–20–20	35	REI 60
12,5 mm brandskyddsskivor i gips	—	CLT 100 C3s	30–40–30	35	REI 90
12,5 mm brandskyddsskivor i gips	—	CLT 100 C5s	20–20–20–20–20	35	REI 90
12,5 mm brandskyddsskivor i gips	40 mm mineralull	CLT 100 C3s	30–40–30	35	REI 90
35 mm ProCrea lerplatta, 5 mm ProCrea underputs av lera med armeringsväv, 5 mm ProCrea överputs av lera	—	CLT 140 C5s	40–20–20–20–40	280	REI 90
12,5 mm brandskyddsskivor i gips	40 mm mineralull	CLT 100 C3s	30–40–30	35	REI 120

Klassificering av provade byggelement

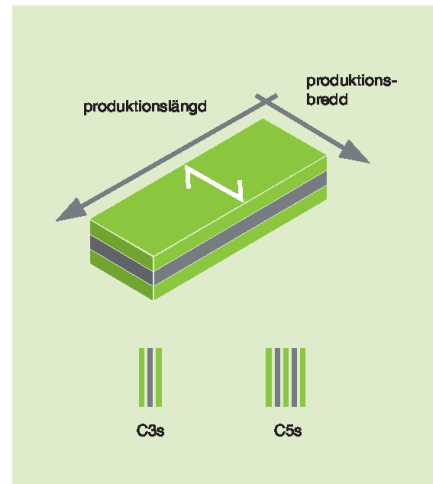
(Stora Enso 2017).

Våra CLT-standardkonstruktioner

C-skivor

Fiberriktningen i täckskikten löper alltid parallellt i förhållande till produktionsbredderna.

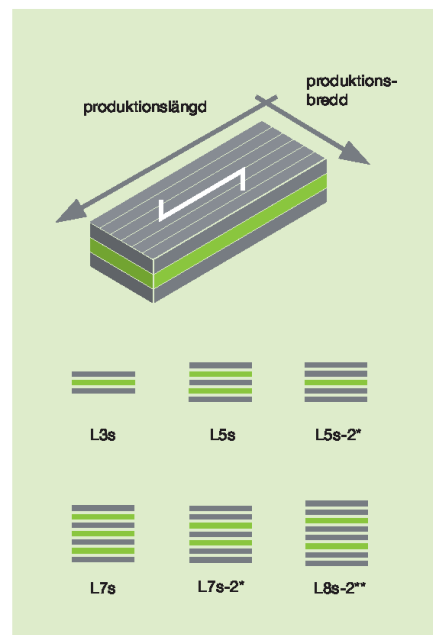
Tjocklek [mm]	Skivtyp [—]	Skikt [—]	Skivuppbyggnad [mm]							
			C***	L	C***	L	C***	L	C***	
60	C3s	3	20	20	20					
80	C3s	3	20	40	20					
90	C3s	3	30	30	30					
100	C3s	3	30	40	30					
120	C3s	3	40	40	40					
100	C5s	5	20	20	20	20	20			
120	C5s	5	30	20	20	20	30			
140	C5s	5	40	20	20	20	40			
160	C5s	5	40	20	40	20	40			



L-skivor

Fiberriktningen i täckskikten löper alltid rätvinkligt i förhållande till produktionsbredderna.

Tjocklek [mm]	Skivtyp [—]	Skikt [—]	Skivuppbyggnad [mm]						
			L	C	L	C	L	C	L
60	L3s	3	20	20	20				
80	L3s	3	20	40	20				
90	L3s	3	30	30	30				
100	L3s	3	30	40	30				
120	L3s	3	40	40	40				
100	L5s	5	20	20	20	20	20		
120	L5s	5	30	20	20	20	30		
140	L5s	5	40	20	20	20	40		
160	L5s	5	40	20	40	20	40		
180	L5s	5	40	30	40	30	40		
200	L5s	5	40	40	40	40	40		
160	L5s-2*	5	60	40	60				
180	L7s	7	30	20	30	20	30	20	30
200	L7s	7	20	40	20	40	20	40	20
240	L7s	7	30	40	30	40	30	40	30
220	L7s-2*	7	60	30	40	30	60		
240	L7s-2*	7	80	20	40	20	80		
260	L7s-2*	7	80	30	40	30	80		
280	L7s-2*	7	80	40	40	40	80		
300	L8s-2***	8	80	30	80	30	80		
320	L8s-2***	8	80	40	80	40	80		



* Täckskikt består av två längsgående skikt.

** Täckskikt liksom det inre skiktet består av två längsgående skikt.

*** Hos C-skivor är går slipriktningen tvärs emot fibrerna.

Produktionsbredder: 245 cm, 275 cm, 295 cm

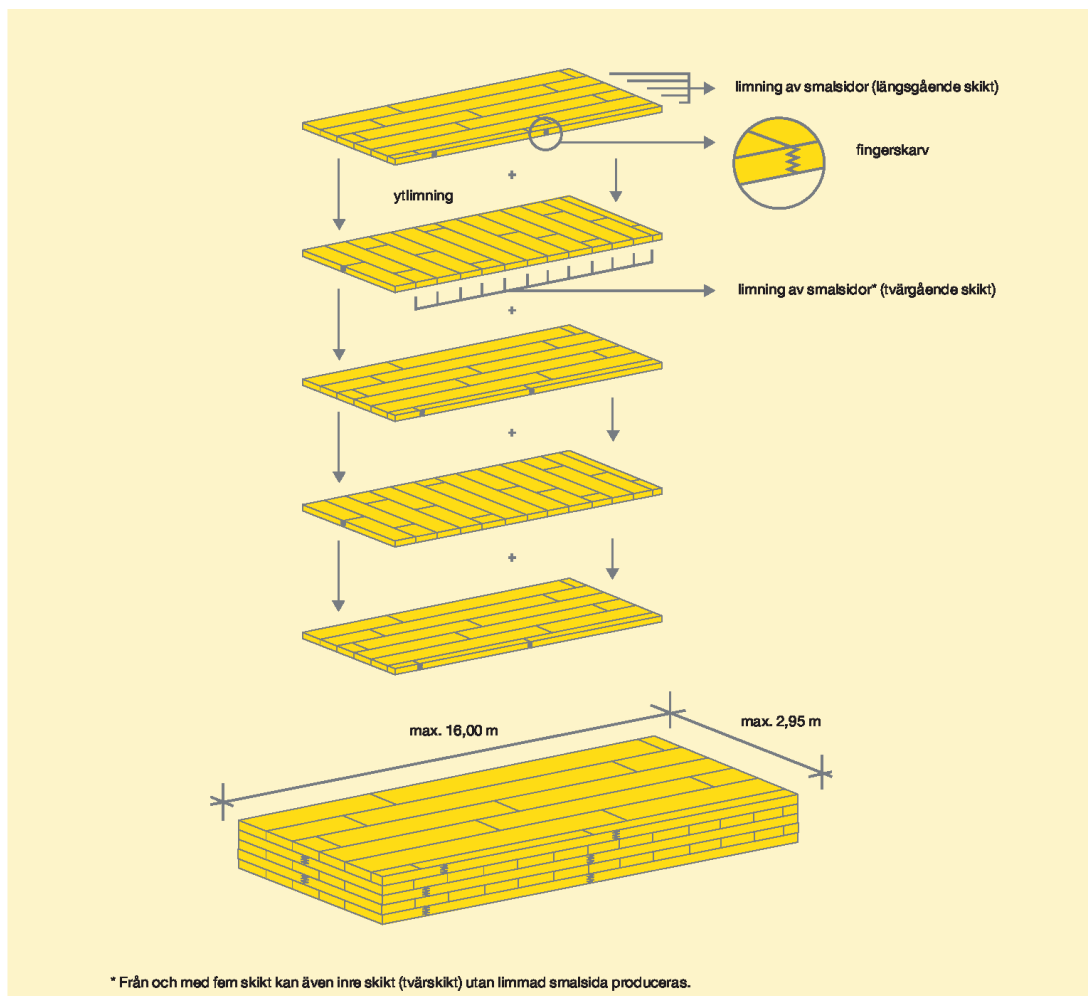
Produktionslängder: från minsta produktionslängd 8,00 m per avräkningsbredd upp till max 16,00 m (i 10-cm-steg)

(Stora Enso, 2017).

Skivuppbyggnad

CLT-massivträskivor är uppbyggda av minst tre skikt med korsvis limmade enkelskiktsskivor. Från och med fem skikt kan CLT även innehålla inre skikt (tvärsikt) utan limmad smalsida. För närvarande kan storlekar upp till 2,95 × 16,00 m produceras.

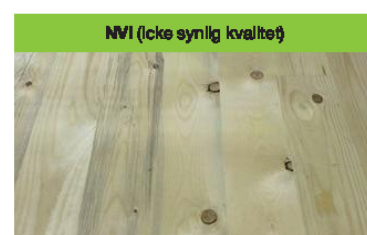
Exempel:
Uppbyggnad hos en CLT-skiva med 5 skikt



(Stora Enso, 2017).

Ytkvaliteter

Ytkvalitet CLT Utseendeklasser för ytkvaliteten med avseende på produkttegenskaper			
Kärnstecken	VI	IVI	NVI
Limning	enskilda öppna fogar upp till max. 1 mm bredd tillåtet	enskilda öppna fogar upp till max. 2 mm bredd tillåtet	enskilda öppna fogar upp till max. 3 mm bredd tillåtet
Blåfärgning	ej tillåtet	lätt missfärgning tillåtet	tillåtet
Missfärgning (brunfärgning...)	ej tillåtet	ej tillåtet	tillåtet
Kärlåpor	inga ansamlingar, max. 5 x 50 mm	max. 10 x 90 mm	tillåtet
Barkinslag	enskilda förekomster tillåtet	enskilda förekomster tillåtet	tillåtet
Tomsprickor	enskilda ytsprickor tillåtna	tillåtet	tillåtet
Käma – mörgrör	enskit upp till 40 cm längd tillåtet	tillåtet	tillåtet
Insektsangrepp	ej tillåtet	ej tillåtet	enskilda små hål, upp till 2 mm tillåtna
Kvistar – friska	tillåtet	tillåtet	tillåtet
Kvistar – svarta	ø max. 1,5 cm	ø max. 3 cm	tillåtet
Kvistar – hål	ø max. 1 cm	ø max. 2 cm	tillåtet
Vankant	ej tillåtet	ej tillåtet	max. 2 x 50 cm
Yta	100 % slipad	100 % slipad	max. 10 % rå yta
Ytbehandlingens kvalitet	enskilda små felställen tillåtna	enskilda felställen tillåtna	enskilda felställen tillåtna
Kvalitet på limningen av smalskida och kortändarna	enskilda små felställen tillåtna	enskilda felställen tillåtna	enskilda felställen tillåtna
Fas på L-skivor	ja	ja	nej
Efterbearbetning av kapningskanter med handslipppapper	ja	nej	nej
Tillkapning – motorsåg	ej tillåtet	tillåtet	tillåtet
Lamellbredd	≤ 130 mm	max. 230 mm	max. 230 mm
Träfuktighet	max. 11 %	max. 15 %	max. 15 %
Blandning av träslag	ej tillåtet	ej tillåtet	hos gran är annan typ av gran och furu tillåtet
Kosmetisk förberedelse av ytan med pluggar, lister...	tillåtet	tillåtet	tillåtet
Hos C-skivor är går slipning tvärs emot fibren.	tillåtet	tillåtet	tillåtet



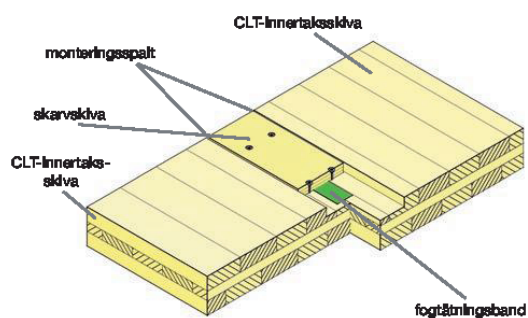
(Stora Enso, 2017).

2. Konstruktion

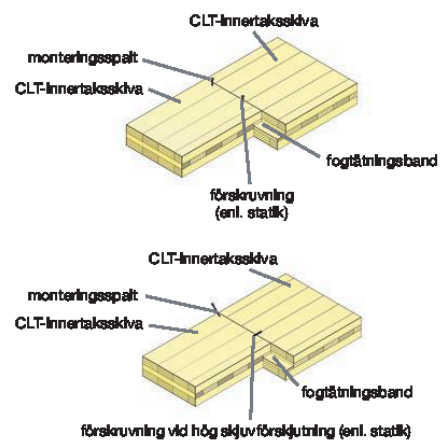
CLT-element kan användas inom många olika områden. Tack vare den korsvis uppbyggda konstruktionen övertar byggelement i CLT när de används för exempelvis ytter-, inner-, och skiljeväggar både lastöverförande och förstärkande funktioner i byggnaden.

Exempel på konstruktionsdetaljer och elementutföranden

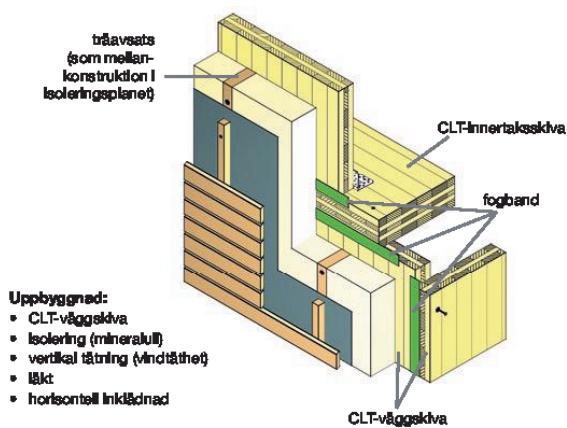
Innertak
Takskarv (skarvskiva)



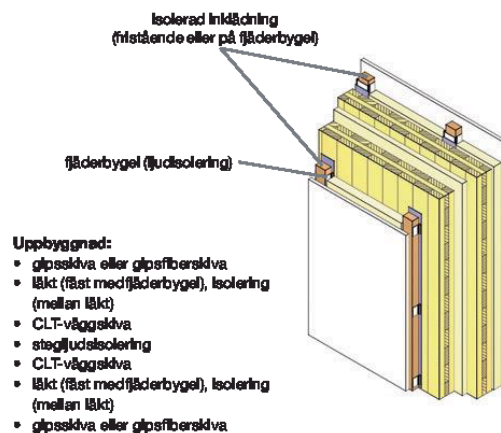
Innertak
Takskarv (stegfals)



Yttervägg
Isolering med mineralull



Inre skiljevägg
System två lager CLT

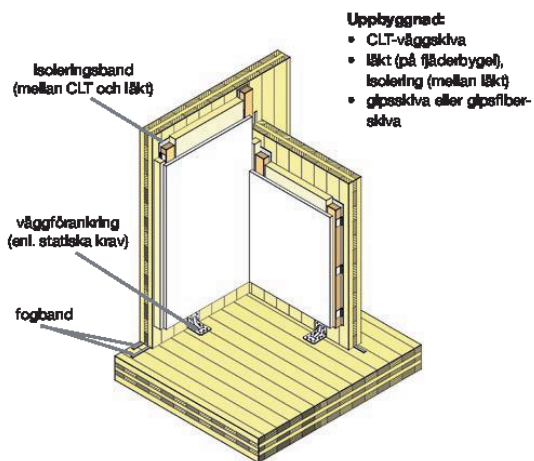


(Stora Enso, 2017).

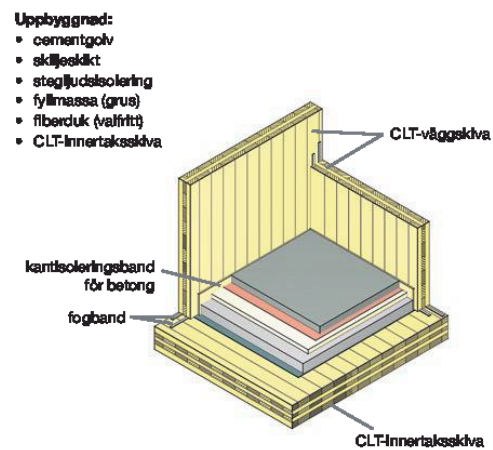
Den mycket höga graden av förtillverkning som möjliggör en kort monterings tid är en stor fördel framförallt vid användning som takelement eftersom byggnaderna snabbt blir regntäta. Ett lönsamt utförande av yttertak och innertak med normala spännvidder utgör precis som uppfyllandet av byggsfiska-

liska krav inget som helst problem. Dessa krav uppnås enkelt med korrekt valda utföranden av byggelementen, och möjligheterna att kombinera CLT med andra byggmaterial är i det närmaste obegränsade.

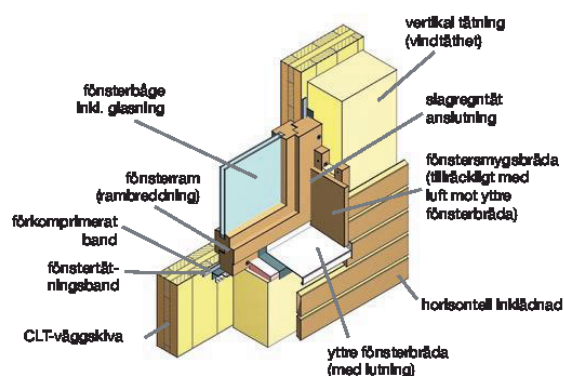
Innervägg Inklädning (fjäderbygel)



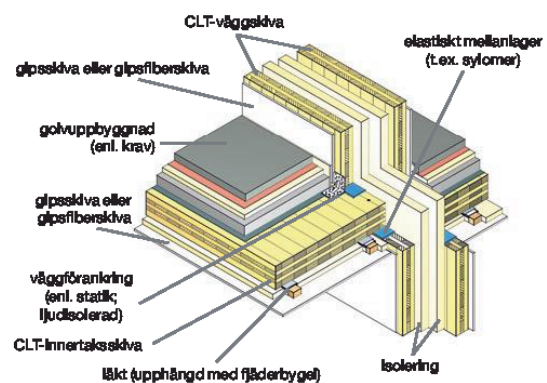
Innertak Takskarv (stegfals)



Fönsteranslutning Montering med förkomprimerat band



Byggnation av flervåningshus Vägg nedervåning – innertak – vägg övervåning



(Stora Enso, 2017).

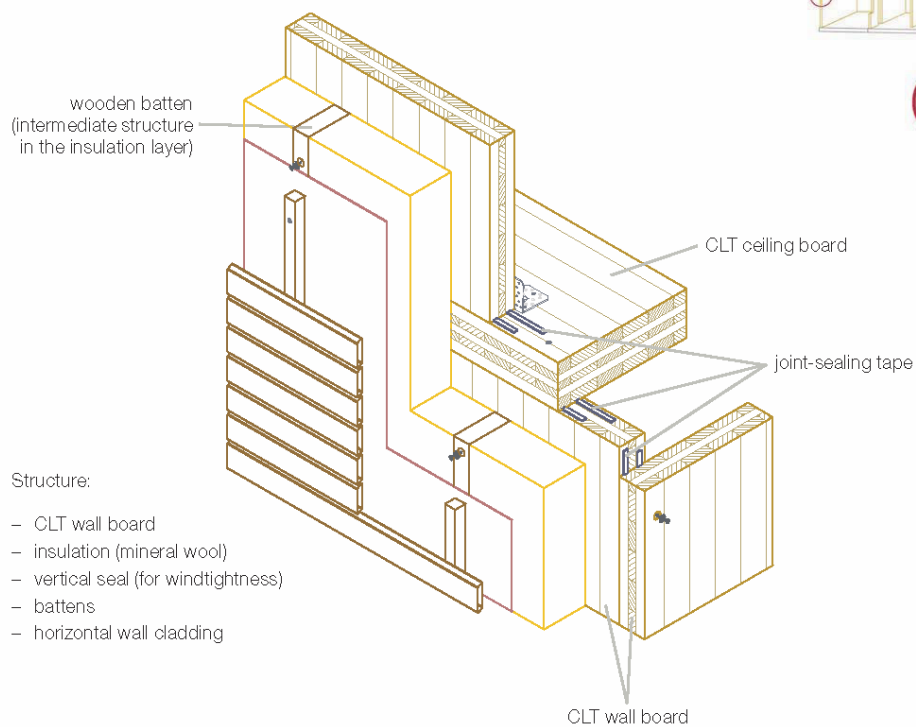
Construction

LAYER STRUCTURES

04/2012

1 External wall

1.1 Insulation with mineral wool



Execution

- Heavy façades (material weight and wind load) must be structurally analysed and the battens sized accordingly.
- Ensure adequate air circulation (battens).
- The windtight and watertight layer must be appropriately designed to take account of the execution of the façade.
- The choice and rating of the connectors and all structural components depend on the structural requirements.
- Layer structures must be matched to the required structural-physical properties of the design.



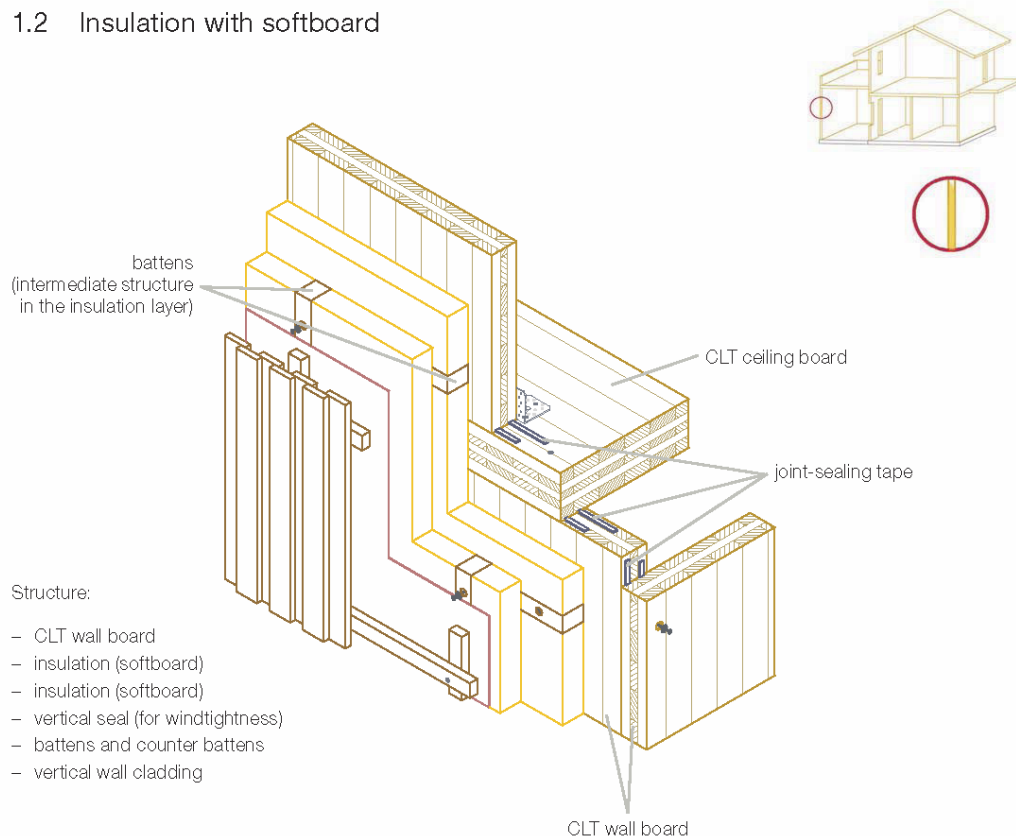
(Stora Enso, 2012).

Construction

LAYER STRUCTURES

04/2012

1.2 Insulation with softboard



Execution

- Heavy façades (material weight and wind load) must be structurally analysed and the battens sized accordingly.
- Ensure adequate air circulation (battens).
- The windtight and watertight layer must be appropriately designed to take account of the execution of the façade.
- The choice and rating of the connectors and all structural components depend on the structural requirements.
- Layer structures must be matched to the required structural-physical properties of the design.



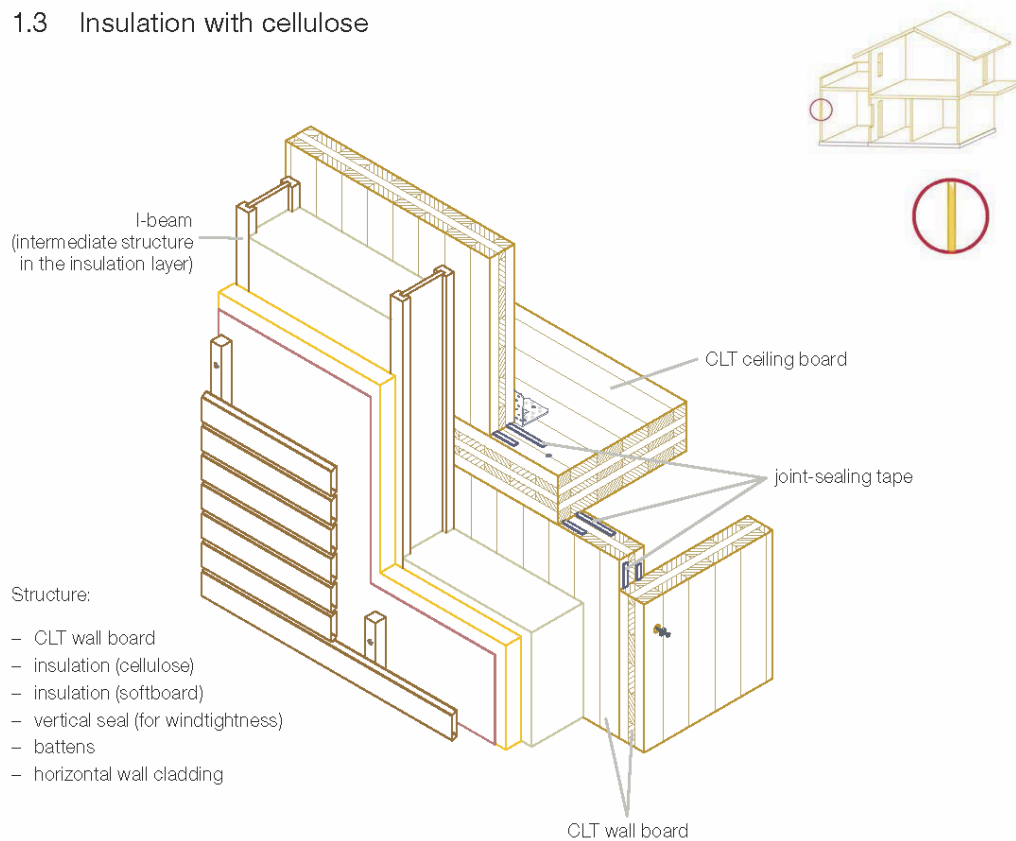
(Stora Enso, 2012).

Construction

LAYER STRUCTURES

04/2012

1.3 Insulation with cellulose



Execution

- Heavy façades (material weight and wind load) must be structurally analysed and the battens sized accordingly.
- Ensure adequate air circulation (battens).
- The windtight and watertight layer must be appropriately designed to take account of the execution of the façade.
- The choice and rating of the connectors and all structural components depend on the structural requirements.
- Layer structures must be matched to the required structural-physical properties of the design.



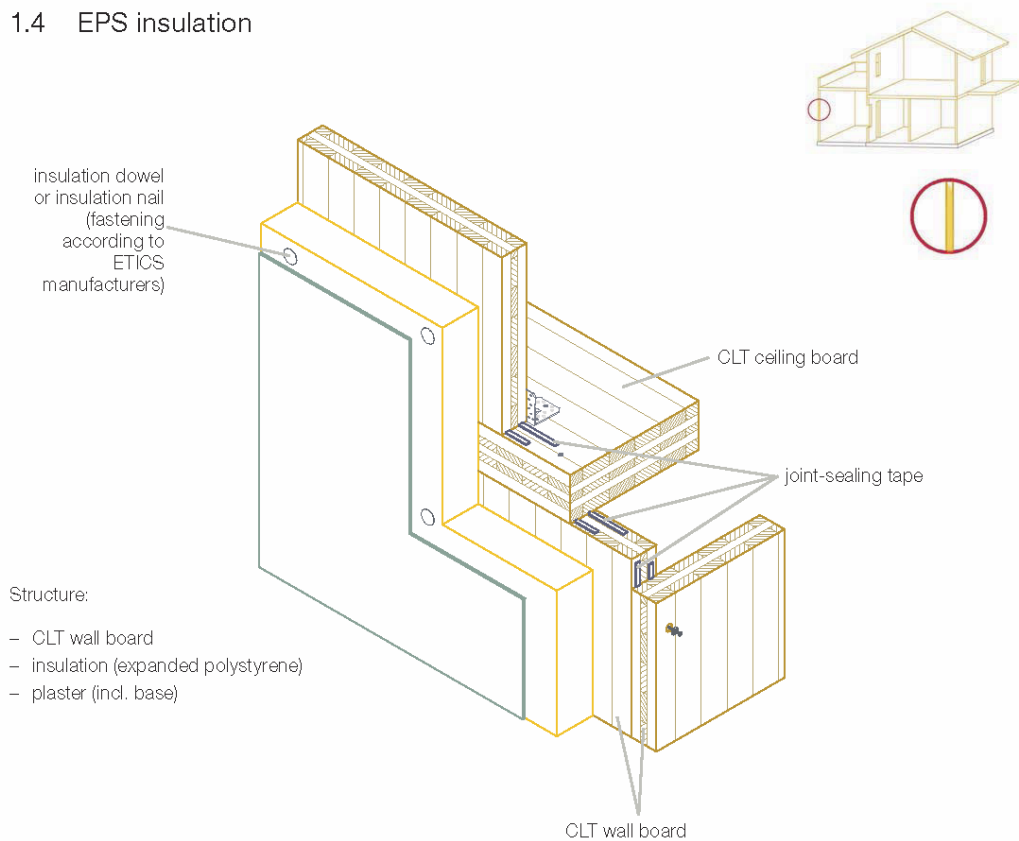
(Stora Enso, 2012).

Construction

LAYER STRUCTURES

04/2012

1.4 EPS insulation



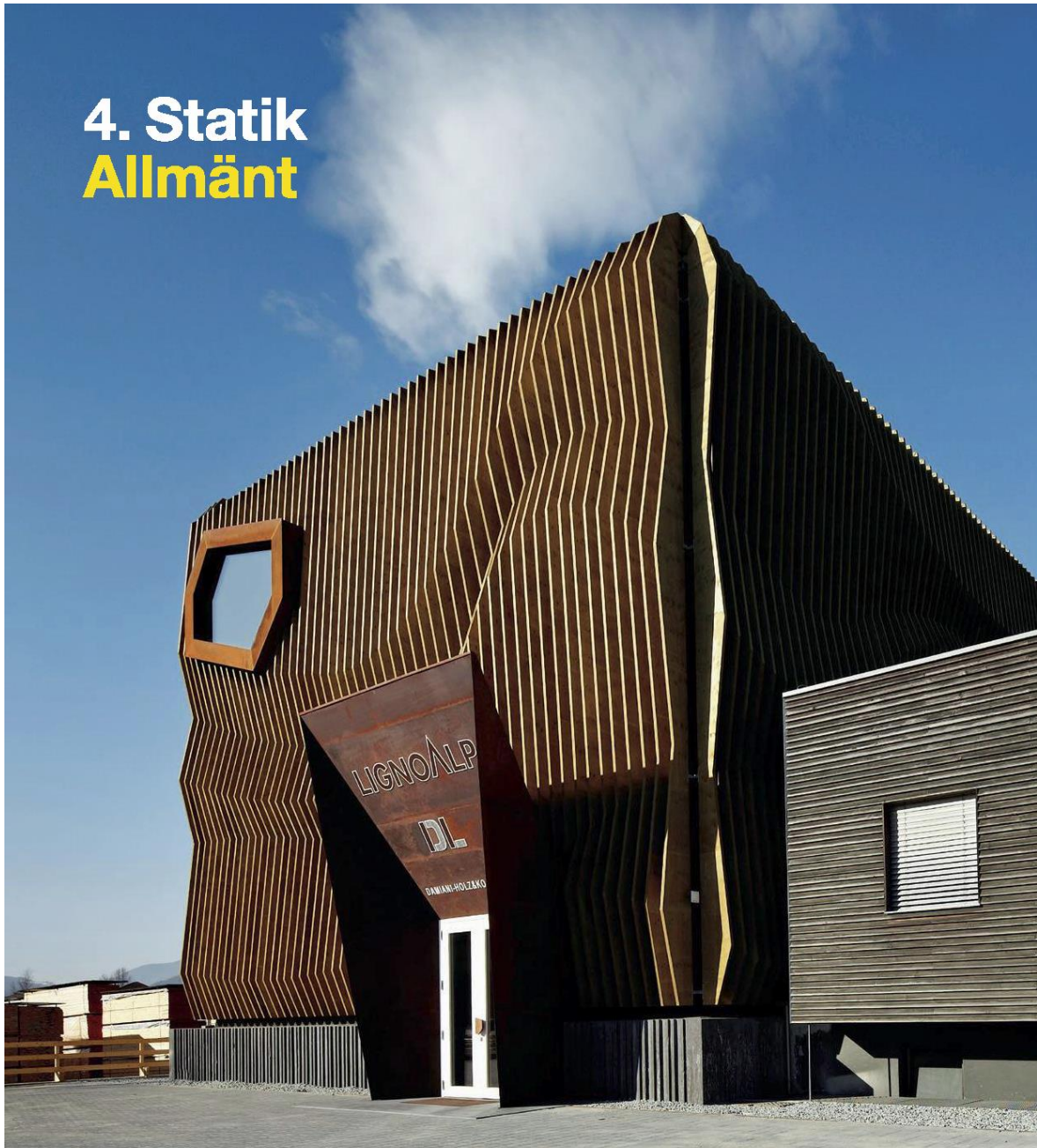
Execution

- Splash-water areas must be constructed in accordance with the requirements (XPS insulation).
- Apart from its price advantage, EPS insulation and its suitability in combination with wooden constructions must be viewed critically in terms of the environment, sound insulation, impermeability etc.
- The choice and rating of the connectors and all structural components depend on the structural requirements.
- Layer structures must be matched to the required structural-physical properties of the design.



(Stora Enso, 2012).

4. Statik Allmänt



De korsvis limmande träskikten gör att laster kan fördelas i två huvuddiktningar, vilken även ibland kallas för biaxial belastning. Tidigare fungerade detta endast i byggnationer med armerad betong. Fördelen är att rummen kan planeras på ett mer flexibelt sätt och att konstruktioner blir enklare och lägre råtak kan användas. Diagonalt utkragade eller punktstödda konstruktioner kräver visserligen en mer omfattande planering, men det är fullt möjligt att utföra dem. CLT-skivor

har en särskilt stor bärkraft eftersom den bärande bredden tack vare tvärlagren i regel sträcker sig över skivans hela bredd. Den höga egna styvheten hos CLT har även en positiv effekt på en byggnads förstärkning.

(Stora Enso, 2017).

Beräkning och dimensionering av CLT

Beräkning av CLT

Det speciella vid beräkningen av CLT är att tvärsnitten är skikt som har en låg skjuvkraft. Därför måste man ta hänsyn till genomböjningen till följd av tvärkrafter och den så kallade rullskjuvkraften. På detta område har flera olika beräkningsmodeller utvecklats. Nedan presenteras dessa metoder kort med hänvisning till de mer utförliga publikationerna. Vid statistiska beräkningar kan CLT inte betraktas på samma sätt som massivt trä eller laminerade träkonstruktioner.

Beräkningen enligt kompositteorin

Med hjälp av "skivuppbbyggnadsfaktorer"

Den här beräkningsmetoden tar inte hänsyn till genomböjningen till följd av tvärkrafter och gäller därför endast för större stödbredder eller högre tjocklekar (ca > 30). I den tekniska pärmen för CLT anges för symmetriskt uppbyggda skivor formler för att beräkna den effektiva böjstyvheten EI_{eff} .

Med hjälp av skjuvkorrekturfaktor

Med den här metoden är det möjligt att beräkna genomböjningen hos innertak genom att skjuvkorrekturfaktorn för den respektive tvärsnittsuppbbyggnaden beräknas enligt Timoschenkos balkteori. Med stavstatikprogram som tar hänsyn till genomböjningen till följd av skjuvkrafter kan metoden användas för att beräkna CLT på ett tillräckligt noggrann sätt.

Beräkning enligt γ -metoden

Den här metoden har utvecklats för beräkning av bjälkar med en eftergivande förbindelse och kan även användas för CLT. Den är tillräckligt exakt för praktisk användning och den beskrivs för användning i kombination med CLT.

Den här metoden är även förankrad i flera normer för träkonstruktioner, t.ex. i DIN 1052-1:1988, DIN 1052:2008, ÖNORM B 4100-2:2003 och i EN 1995-1-1 (Eurocode 5).

Beräkning enligt skjuvanalogimetoden

Skjuvanalogimetoden beskrivs i DIN 1052-1:2008, Bilaga D och anses vara en exakt metod för beräkning av CLT med valfritt skiktutförande.

Beräkning av CLT med två axlar

Med hjälp av bjälkgaller

Med stavstatikprogram kan 2D-strukturer modelleras.

Med hjälp av Finite-Elemente-program

Med FE-program 2D-strukturer modelleras.

Beräkning av förbindelsemedel i CLT

Beräkningen av förbindelsemedel beskrivs i godkännandet Z-9.1-559 för CLT.

(Stora Enso, 2017).

Dimensionering med Stora Enso CLT- dimensioneringsprogram

Stora Enso ställer på www.clt.info utan kostnad ett dimensioneringsprogram för dokumentation av vanliga CLT-byggelement till förfogande.

Fördimensioneringstabeller

Dimensioneringstabellerna nedan kan vara till hjälp vid fördimensioneringen men ersätter inte en komplett utförd statisk dimensionering.

Med det här programmet kan följande element dimensioneras:

- innertak eller platta tak
- lutande tak
- ribbtak
- väggskivor
- väggliknande bjälkar
- kamrar över fönster och dörrar
- utkragade skivor
- stöd
- lastfördelning på förstärkningsväggar

Egen- vikt (q _g)	Nyttolast q _l	Spännvidd tvåstödsbalk								
		3,00 m	3,50 m	4,00 m	4,50 m	5,00 m	5,50 m	6,00 m	6,50 m	7,00 m
1,00	1,00		80 L3s	100 L3s	120 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s-2	180 L5s-2	180 L5s
	2,00	80 L3s	90 L3s						180 L5s	200 L5s
	2,80			100 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s-2	180 L5s	200 L5s	
	3,50	90 L3s					160 L5s-2			220 L7s-2
	4,00	90 L3s				160 L5s-2	180 L5s-2	200 L5s	220 L7s-2	
	5,00	100 L3s	120 L3s	140 L3s	160 L5s-2	160 L5s-2	200 L5s-2	220 L7s-2		240 L7s-2
1,50	1,00		90 L3s					160 L5s-2	180 L5s	180 L5s
	2,00	80 L3s		120 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s-2			200 L5s
	2,80	90 L3s					160 L5s-2	180 L5s	200 L5s	
	3,50				140 L5s					220 L7s-2
	4,00	90 L3s					180 L5s-2	200 L5s		
	5,00	100 L3s	120 L3s	140 L5s	160 L5s-2	160 L5s-2	200 L5s-2	220 L7s-2	220 L7s-2	240 L7s-2
2,00	1,00	80 L3s	100 L3s			140 L5s	160 L5s-2	180 L5s	200 L5s	
	2,00	80 L3s		120 L3s	140 L5s		160 L5s-2			220 L7s-2
	2,80						160 L5s-2	180 L5s	200 L5s	
	3,50	90 L3s								
	4,00		120 L3s	140 L5s	160 L5s-2			220 L7s-2		
	5,00	100 L3s			160 L5s-2	180 L5s	200 L5s	220 L7s-2		240 L7s-2
2,50	1,00		100 L3s				160 L5s-2	160 L5s-2		
	2,00	90 L3s		120 L3s	140 L5s			180 L5s	200 L5s	240 L7s-2
	2,80									220 L7s-2
	3,50		120 L3s			160 L5s-2		200 L5s		
	4,00	100 L3s		140 L5s			200 L5s	220 L7s-2		240 L7s-2
	5,00	120 L3s	120 L3s		160 L5s-2	180 L5s	200 L5s		240 L7s-2	
3,00	1,00	90 L3s		120 L3s	140 L5s		180 L5s	200 L5s		220 L7s-2
	2,00		120 L3s			160 L5s-2			220 L7s-2	
	2,80				160 L5s-2					
	3,50	100 L3s		140 L5s			200 L5s	220 L7s-2		240 L7s-2
	4,00		120 L3s			160 L5s-2				
	5,00	120 L3s	140 L5s			180 L5s	220 L7s-2		240 L7s-2	

Tvåstödsbalk: deformation

Bärförmåga:

- dokumentation av böjspänningar
- dokumentation av skjuvspänningar

$$k_{\text{mod}} = 0,8$$

Användningsegenskaper:

- inledande genomböjning
 $w_{\text{inst}} < L/300$
- genomböjning efter lång tid
 $w_{\text{inst}} < L/250$

$$k_{\text{def}} = 0,6$$

* Egenvikten hos CLT har i tabellen beaktats med $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$.

NKL 1, nyttolastkategori A
($\psi_0 = 0,7$; $\psi_1 = 0,5$; $\psi_2 = 0,3$)

Enligt ETA-14/0349 (02.10.2014)
EN 1995-1-1 (2014)

R0
R30
R60
R90

Brand:
HFA 2011
 $\beta_1 = 0,65 \text{ mm/min}$

(Stora Enso, 2017).



Egenvekt (kg/m²)	nyttolast q_k	Spännvidd tvåstödsbalk							
		3,00 m	3,60 m	4,00 m	4,60 m	5,00 m	5,60 m	6,00 m	6,60 m
1,00	1,00								
	2,00								
	2,80								
	3,60								
	4,00								
1,50	1,00								
	2,00								
	2,80								
	3,60								
	4,00								
2,00	1,00								
	2,00								
	2,80								
	3,60								
	4,00								
2,50	1,00								
	2,00								
	2,80								
	3,60								
	4,00								
3,00	1,00								
	2,00								
	2,80								
	3,60								
	4,00								

Tvåstödsbalk: vibration

Bärförmåga:

- dokumentation av böjspänningar
- dokumentation av skjvspanningar

$$k_{\text{mod}} = 0,8$$

Användningsegenskaper:

- inledande genomböjning
 $w_{\text{inst}} < L/300$
- genomböjning efter lång tid
 $w_{\text{inst}} < L/250$
- vibration
vibration enligt
ÖNORM B 1995-1-1 (2014)
innertaksklass I
 $\zeta = 4 \%$, 5 cm cement
($E = 26\,000 \text{ N/mm}^2$), $b = 1,2 \cdot \ell$

$$k_{\text{def}} = 0,6$$

* Egenvikten hos CLT har i tabellen beaktats med $p = 500 \text{ kg/m}^3$.

NKL 1, nyttolastkategori A
($\psi_0 = 0,7$; $\psi_1 = 0,5$; $\psi_2 = 0,3$)

Enligt ETA-14/0849 (02.10.2014)
EN 1995-1-1 (2014)

R0
R30
R60
R90

Brand:
HFA 2011
 $\beta_s = 0,65 \text{ mm/min}$

(Stora Enso, 2017).

Karakteristiska normalkrafter för Hunton Lättbalk till vägg



System 1

- Vägghöjd enligt tabell
- Båda flänsarna är avstyvade i sidled
- Tabellen visar endast knäckning runt den starka axeln
- Lasten N_k belastar båda flänsarna

Karakteristiska normalkrafter per väggregel:

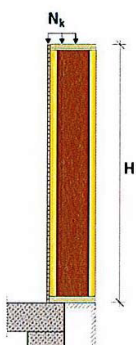
Typ	Max karakteristisk last per väggregel beroende på vägghöjd $H_{vägg}$					
	Balkhöjd	$H_{vägg} = 2,5 \text{ m}$	$H_{vägg} = 3,0 \text{ m}$	$H_{vägg} = 4,0 \text{ m}$	$H_{vägg} = 5,0 \text{ m}$	$H_{vägg} = 6,0 \text{ m}$
	[mm]	N_k [kN]	N_k [kN]	N_k [kN]	N_k [kN]	N_k [kN]
SWL 45*	H200	60,1	57,3	49,2	38,6	29,3
	H250	62,1	60,4	55,7	48,6	39,9
	H300	63,7	62,6	59,8	56,1	50,9
	H350	64,6	63,7	61,8	59,4	56,3
SWL 60*	H200	80,9	77,4	66,8	52,9	40,3
	H250	83,6	81,4	75,3	66,2	54,8
	H300	85,7	84,2	80,7	76,0	69,4
	H350	86,9	85,8	83,3	80,2	76,3
	H400	87,5	86,5	84,4	81,9	78,8
SWL 90*	H250	126,6	123,3	114,6	101,5	84,8
	H300	129,7	127,6	122,5	115,8	106,4
	H350	131,5	129,9	126,3	121,9	116,4
	H400	132,3	130,9	127,9	124,3	120,0

Anmärkning:

- Dimensionerande normalkrafter beräknas som: $N_d = N_k \times K_{mod} / \gamma_m$.
- Deformation av syll och hammarband ska värderas vid varje enskilt fall.
- Tabellen är vägledande och ersätter inte en projektering på varje enskilt fall.

* Ej lagervara.

(Hunton, 2016a)

**System 2**

- Vägghöjd enligt tabell
- Enbart den innersta flänsen är avstyvad i sidled
- Tabellen visar endast knäckning runt den starka axeln där det endast är den innersta flänsen som är lastöverförande
- Lasten N_k belastar endast den innersta flänsen

Karaktäristiska normalkrafter per väggregel:

Typ	Max karaktäristisk last per väggregel beroende på vägghöjd $H_{vägg}$					
	Balkhöjd	$H_{vägg} = 2,5 \text{ m}$	$H_{vägg} = 3,0 \text{ m}$	$H_{vägg} = 4,0 \text{ m}$	$H_{vägg} = 5,0 \text{ m}$	$H_{vägg} = 6,0 \text{ m}$
	(mm)	N_k [kN]	N_k [kN]	N_k [kN]	N_k [kN]	N_k [kN]
SWL 45*	H200	30,0	28,6	24,6	19,3	14,6
	H250	31,0	30,2	27,8	24,3	19,9
	H300	31,8	31,3	29,9	28,0	25,4
	H350	32,3	31,8	30,9	29,7	28,1
SWL 60*	H200	40,4	38,7	33,4	26,4	20,1
	H250	41,8	40,7	37,6	33,1	27,4
	H300	42,8	42,1	40,3	38,0	34,7
	H350	43,4	42,9	41,6	40,1	38,1
	H400	43,7	43,2	42,2	40,9	39,4
SWL 90*	H250	63,3	61,6	57,3	50,7	42,4
	H300	64,8	63,8	61,2	57,9	53,2
	H350	65,7	64,9	63,1	60,9	58,2
	H400	66,1	65,4	63,9	62,1	60,0

Anmärkning:

- Dimensionerande normalkrafter beräknas som: $N_d = N_k \times K_{mod} / Y_m$.
- Deformation av syll och hammarband ska värderas vid varje enskilt fall.
- Tabellen är vägledande och ersätter inte en projektering på varje enskilt fall.

* Ej lagervara.

(Hunton, 2016a)

Bilaga 11 (1/1)

Egenvikt för klimatelet

$$Vägg_L := 6m$$

$$Vägg_H := 3m$$

$$Vägg_A := Vägg_L \cdot Vägg_H$$

$$Isolering_T := 0.2m$$

$$Panel_{lm.per.m2} := 6.33 \frac{m}{m^2}$$

$$Antal_{c600} := \left(\frac{Vägg_L}{0.6m} \right) + 1 = 11 \text{ st}$$

$$L_{balk} := \left(2.9 \frac{kg}{m} \cdot Vägg_H \right) \cdot Antal_{c600} = 95.7 \text{ kg}$$

$$Isol := 50 \frac{kg}{m^3} \cdot (Vägg_A) \cdot Isolering_T = 180 \text{ kg}$$

$$Vskydd_{12mm} := 3.2 \frac{kg}{m^2} \cdot Vägg_A = 57.6 \text{ kg}$$

$$S_{lakt} := 1.44 \frac{kg}{m} \cdot (Vägg_H \cdot Antal_{c600}) = 47.52 \text{ kg}$$

$$Panel := \left(1.9 \frac{kg}{m} \cdot Panel_{lm.per.m2} \right) \cdot Vägg_A = 216.49 \text{ kg}$$

$$Egenvikt_{skal} := L_{balk} + Isol + Vskydd_{12mm} + S_{lakt} + Panel$$

$$Egenvikt_{skal} = 597.31 \text{ kg}$$

$$Newton := \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

$$massa := Egenvikt_{skal}$$

$$a := \frac{9.81m}{s^2}$$

$$F_{Newton} := massa \cdot a = 5859.57 \text{ N}$$

$$Egenvikt_{per.meter} := \frac{F_{Newton}}{Vägg_L} = 976.6 \frac{N}{m}$$

$$976.67 \frac{N}{m} = 0.97667 \frac{kN}{m}$$

(Holmgren, 2018).

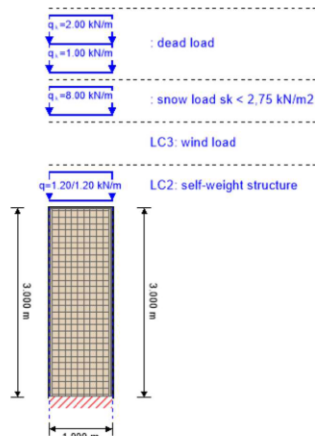
NOVIA
Student Robin Holmgren

project
element

CLT-fördimensionering
CLT-väggkonstruktion

page 1
date 02.03.2018

system

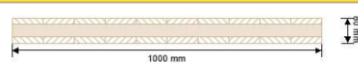


global utilization ratio

95 %

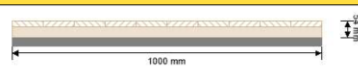
ULS 11 % ULS fire 95 % SLS 0 %

section: CLT 80 C3s



layer	thickness	orientation	material
1	20.0 mm	90°	C24 pine
2	40.0 mm	0°	C24 pine
3	20.0 mm	90°	C24 pine
t_{CLT}	80.0 mm		

section fire: CLT 80 C3s



layer	thickness	orientation	material
1	20.0 mm	90°	C24 pine
2	34.0 mm	0°	C24 pine
t_{CLT}	54.0 mm		

fire resistance class: R 30

fire protection layering : no additional fire protection

time	30 min				
k_0	d_0	$d_{char,0,h}$	$d_{ef,h}$	$d_{char,0,v}$	$d_{ef,v}$
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	7	19.0	26.0	0.0	0.0

material values

material	$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{v,k}$	$f_{t,k,min}$	$E_{0,mean}$	G_{mean}	$G_{r,mean}$
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
C24 pine	24.00	14.00	0.35	21.00	2.40	4.00	1.70	12,500.00	460.00	50.00

load



Calculatis by Stora Enso 2.0 November 2016

(Stora Enso, 2018)

NOVIA
Student Robin Holmgren

project
element

CLT-fördimensionering
CLT-väggkonstruktion

page 2
date 02.03.2018

load case groups									
	load case category	Typ	duration	Kmod	γ_{inf}	γ_{sup}	ψ_0	ψ_1	ψ_2
LC2	self-weight structure	G	permanet	0.6	1	1.35	1	1	1
LC3	wind load	Q	short term	0.9	0	1.5	0.6	0.2	0
	snow load sk < 2,75 kN/m2	Q	short term	0.9	0	1.5	0.7	0.4	0.2
	dead load	G	permanet	0.6	1	1.35	1	1	1

LC2:self-weight structure			
trapezoidal load			
distance from start	$q_{k,a}$	load at end	load length
[m]	[kN/m]		[m]
0.000	1.2	1.20	1.000

LC3:wind load		
load out of plane		
load at start	direction	load covers openings
0.60	local	ja

:snow load sk < 2,75 kN/m2	
continous load	
q_k	
[kN/m]	
8	

:dead load	
continous load	
q_k	
[kN/m]	
1	
2	

ULS combinations	
	combination rule
LCO1	$1.35/1.00 * LC2 + 1.35/1.00 *$
LCO2	$1.15/1.00 * LC2 + 1.15/1.00 * + 1.50/0.00 * LC3$
LCO3	$1.15/1.00 * LC2 + 1.15/1.00 * + 1.50/0.00 * LC3 + 1.50/0.00 * 0.70 *$
LCO4	$1.15/1.00 * LC2 + 1.15/1.00 * + 1.50/0.00 *$
LCO5	$1.15/1.00 * LC2 + 1.15/1.00 * + 1.50/0.00 * + 1.50/0.00 * 0.60 * LC3$

ULS combinations fire	
	combination rule
LCO1	$1.00/1.00 * LC2 + 1.00/1.00 *$
LCO2	$1.00/1.00 * LC2 + 1.00/1.00 * + 1.00/0.00 * 0.20 * LC3$
LCO3	$1.00/1.00 * LC2 + 1.00/1.00 * + 1.00/0.00 * 0.20 * LC3 + 1.00/0.00 * 0.20 *$
LCO4	$1.00/1.00 * LC2 + 1.00/1.00 * + 1.00/0.00 * 0.40 *$
LCO5	$1.00/1.00 * LC2 + 1.00/1.00 * + 1.00/0.00 * 0.40 * + 1.00/0.00 * 0.00 * LC3$

Ultimate limit state (ULS) - design results



Calculatis by Stora Enso 2.0 November 2016

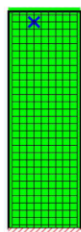
NOVIA
Student Robin Holmgren

project
element

CLT-fördimensionering
CLT-väggkonstruktion

page 3
date 02.03.2018

utilization rate of shear stress in plane on net section

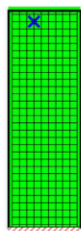


0.0 % 100.0 %

LCO4

Id	X	Z	k_{mod}	$f_{IP,Netto,k}$	Q	$T_{IP,Net,d}$	ratio
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]
294	0.35	2.85	0.9	8.0	0.00	0.00	0 %

utilization rate of shear stress in plane of gross section

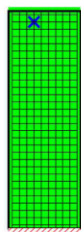


0.0 % 100.0 %

LCO4

Id	X	Z	k_{mod}	f	Q	τ	ratio
[-]	[m]	[m]	[-]	$v_{IP,Brutto,k}$	[kN]	$\tau_{IP,Gross,d}$	[%]
294	0.35	2.85	0.9	3.5	0.00	0.00	0 %

utilization rate of torsional shear stress in face glued surfaces



0.0 % 100.0 %

LCO4

Id	X	Z	k_{mod}	$f_{v,IP,T,k}$	Q	$T_{T,Node,d}$	ratio
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]
294	0.35	2.85	0.9	2.5	0.00	0.00	0 %



Calculatis by Stora Enso 2.0 November 2016

(Stora Enso, 2018)

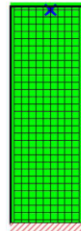
NOVIA
Student Robin Holmgren

project
element

CLT-fördimensionering
CLT-väggkonstruktion

page 4
date 02.03.2018

utilization rate of axail force horizontal

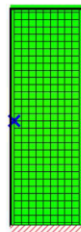


0.0 % 100.0 %

LCO4

Id	X	Z	k_{mod}	$f_{m,k}$	$N_{h,max}$	M_y	$\sigma_{h,max}$	ratio
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[%]
306	0.55	2.95	0.9	24.0	0.0000	0.0000	0.00	0 %

utilization rate of axail force vertical

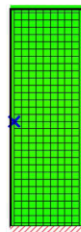


0.0 % 100.0 %

LCO3

Id	X	Z	k_{mod}	$f_{m,k}$	$N_{v,max}$	M_y	$\sigma_{v,max}$	ratio
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[%]
151	0.05	1.45	0.9	24.0	1.3220	1.0114	1.41	8 %

utilization rate for buckling



0.0 % 100.0 %

LCO3

Id	X	Z	l_k	λ_y	β_c	$k_{c,y}$	$f_{c,d}$	$\sigma_{c,0,d}$	$\sigma_{m,y,d}$	ratio
[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]
151	0.05	1.45	3.0	98	0.1	0.419	15.12	0.33	1.08	11 %

Ultimate limit state (ULS) fire design - results



storaenso

Calculatis by Stora Enso 2.0 November 2016

(Stora Enso, 2018)

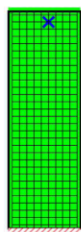
NOVIA
Student Robin Holmgren

project
element

CLT-fördimensionering
CLT-väggkonstruktion

page 5
date 02.03.2018

utilization rate of shear stress in plane on net section

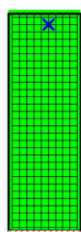


0.0 % 100.0 %

LCO4

Id	X	Z	k_{mod}	$f_{IP,Netto,k}$	Q	$T_{IP,Net,d}$	ratio
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]
296	0.55	2.85	1	8.0	0.00	0.00	0 %

utilization rate of shear stress in plane of gross section

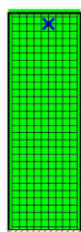


0.0 % 100.0 %

LCO4

Id	X	Z	k_{mod}	f	Q	τ	ratio
[-]	[m]	[m]	[-]	$v_{IP,Brutto,k}$	[kN]	$IP_{Gross,d}$	[%]
296	0.55	2.85	1	3.5	0.00	0.00	0 %

utilization rate of torsional shear stress in face glued surfaces



0.0 % 100.0 %

LCO4

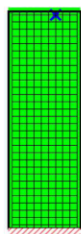
Id	X	Z	k_{mod}	$f_{v,IP,T,k}$	Q	$T_{T,Node,d}$	ratio
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[%]
296	0.55	2.85	1	2.5	0.00	0.00	0 %



Calculatis by Stora Enso 2.0 November 2016

(Stora Enso, 2018)

utilization rate of axail force horizontal

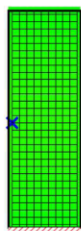


0.0 % 100.0 %

LCO4

Id	X	Z	k_{mod}	$f_{m,k}$	$N_{h,max}$	M_y	$\sigma_{h,max}$	ratio
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[%]
307	0.65	2.95	1	24.0	0.0000	0.0000	0.00	0 %

utilization rate of axail force vertical

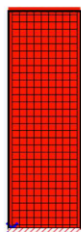


0.0 % 100.0 %

LCO3

Id	X	Z	k_{mod}	$f_{m,k}$	$N_{v,max}$	M_y	$\sigma_{v,max}$	ratio
[-]	[m]	[m]	[-]	[N/mm ²]	[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[%]
151	0.05	1.45	1	24.0	0.5800	0.1349	2.31	8 %

utilization rate for buckling



0.0 % 100.0 %

LCO4

Id	X	Z	l_k	λ_y	β_c	$k_{c,y}$	$f_{c,d}$	$\sigma_{c,0,d}$	$\sigma_{m,y,d}$	ratio
[-]	[m]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]
1	0.05	0	3.0	520	0.1	0.016	24.15	0.37	0.00	95 %

Service limit state design (SLS) - design results



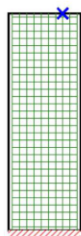
NOVIA
Student Robin Holmgren

project
element

CLT-fördimensionering
CLT-väggkonstruktion

page 7
date 02.03.2018

horizontal deformation



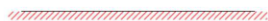
LCO3

Id	X	Z	W _{limit}	limit	V _{h,max}	ratio
[-]	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]
318	0.75	3	10.0	L/300 = 10.0	0.0000	0.0 %

support reaction

support reaction horizontal min/max

min=0.00 / max=0.00 [kN/m]



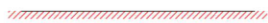
support reaction vertical min/max

min=0.00 / max=16.82 [kN/m]



support reaction moment min/max

min=0.00 / max=0.00 [kNm/m]



note

Beräkning för CLT-vägg med lättbalk, isolering, vindsydd, spiklakt och panel.



Calculatis by Stora Enso 2.0 November 2016

NOVIA
Student Robin Holmgren

project
element

CLT-fördimensionering
CLT-väggkonstruktion

page 8
date 02.03.2018

reference documents for this analysis	
English title	description
EN 338	EN 338 - Structural timber — Strength classes
EN 1995-1-1	EN 1995-1-1 - Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings
ETA-14/0349	European Technical Assessment ETA-14/0349 of 02.10.2014
Expertise Rolling shear - no edge gluing, H.J. Blass	Expertise on Rolling shear for CLT
EN 1995-1-2	EN 1995-1-2 - Eurocode 5 — Design of timber structures — Part 1-2: General — Structural fire design
Technical expertise 122/2011/02: analysis of load bearing capacity and separation performance of CLT elements	Verification of the load bearing capacity and the insulation criterion of CLT structures with Stora Enso CLT
Technical expertise 2434/2012 - BB: failure time tf of gypsum fire boards (GKF) according to ON B 3410	Expertise on failure time tf of gypsum wall fire boards according to ON B3410 and gypsum wall boards type DF according to EN 520
EN 1990	EN 1990 - Eurocode — Basis of structural design
SFS-EN 1995-1-1 NA	SFS EN 1995-1-1 - Finland - National Annex — Nationally determined parameters — Eurocode 5: Design of timber structures — Part 1-1: General — Common rules and rules for buildings
RIL 205-1-2009	CrossLam Kuhmo CLT annexes for the RIL 205-1-2009 instruction
Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe	Fire safety in timber buildings - technical guideline for Europe; publishes by SP Technical Research Institute of Sweden
National specifications concerning ÖNORM EN 1995-1-2, national comments and national supplements, chapter 12	ÖNORM EN 1995-1-2 - National specifications concerning ÖNORM EN 1995-1-2, national comments and national supplements, chapter 12
Analysis of CLT wall elements, using a beam grid model - TU-Graz - focus_sts 113_1_SF_12	Analysis of CLT shear walls with beam grid models - TU-Graz - focus_sts 113_1_SF_12
SFS EN 1995-1-2_NA	SFS EN 1995-1-2 - Finland - National Annex - Eurocode 5: Design of timber structures — Part 1-2: General — Structural fire design — National specifications concerning SFS EN 1995-1-2, national comments and national supplements
SFS EN 1995-1-1_NA	SFS EN 1995-1-1 - Finland - National Annex — Nationally determined parameters — Eurocode 5: Design of timber structures — Part 1-1: General rules and rules for buildings
Expertise Rolling shear, H.J. Blass	Expertise on rolling shear strength and rolling shear modulus of CLT panels
Expertise shear in plane of CLT, H.J. Blass	Expertise - revision of DIBt technical approval Z-9.1/599 - shear in the plane of CLT

Disclaimer

The software was created to assist engineers in their daily business. The software is an engineering software that is dealing with a very complex matter of structural analysis and building physics analysis. Therefore, this software shall only be operated by skilled, experienced engineers, with a deep understanding of structural engineering and building physics related to timber structures. The user of the software is obliged to check all input values, no matter if they were given by the user or given by default by the software and all results for plausibility.

The use of the results of the software should not be relied upon as the basis for any decision or action. Any use of results of the software is only allowed, if the results have been verified and approved regarding completeness and correctness by a project structural/building physics engineer. The user has the possibility to make print-outs from the software. Any modification of those are not allowed.

Stora Enso Wood Products GmbH does not assume any warranty regarding the software. The software has been developed with utmost diligence, nevertheless Stora Enso Wood Products GmbH, neither expressly nor implicitly, provides any warranty in terms of accuracy, validity, timeliness and completeness of information and data created by the software. Stora Enso Wood Products GmbH does also not assume any warranty for the general usability of the software, its suitability for a special purpose or for the compatibility of the software with the ones of third party producers or providers.

Stora Enso Wood Products GmbH is only liable for damages caused by gross negligence or intent through Stora Enso Wood Products GmbH; the liability for slight negligence is excluded. This does not apply to personal injury. Under the aforementioned conditions Stora Enso Wood Products GmbH is as well not liable for operational failures or the loss of programs and/or data of the user's data processing system.

Applicable Law: These terms of use shall be governed by the laws of Austria excluding however any conflict of laws rules and any laws regarding the Convention of the International Sale of Goods (CISG).



Calculatis by Stora Enso 2.0 November 2016

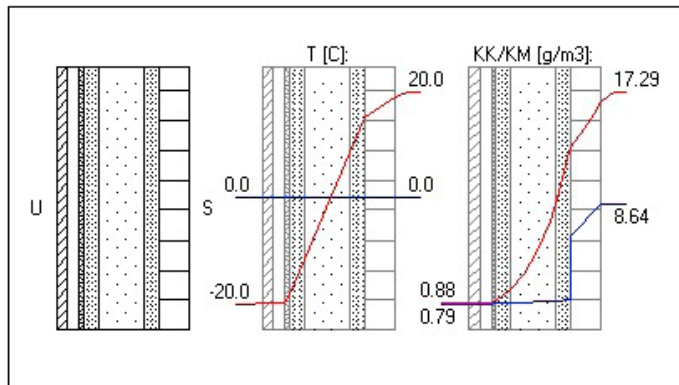
(Stora Enso, 2018)

Rakennuskohde: CLT-yttervägg	Sisältö: Extremsituation med ångbroms	
Suunnittelija: R.Holmgren	Päiväys: 2018-02-27	Tunnus: US

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.168 W/m²K
Paksuus: 352.200 mm
Pinta-ala: 1.00 m²
Paino: 69.30 kg
Hinta: 67.22 euro

Vesihöyryn vastus: 1.631e+04 m²hPa/g
Vesih. läpäisykerroin: 6.133e-05 g/m²hPa
Lämmönvastus: 5.938 m²K/W
Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Fasadpanel UTV 28x12	28.00	---	---	513.00	430.00
2	Ventilerad luftspalt	32.00	---	---	44.00	74.00
3	Hunton Vindtät	12.00	0.0490	1.200000e-11	250.00	267.00
4	Hunton Nativo Lösull	39.00	0.0380	2.000000e-10	40.00	50.00
5	Hunton Nativo Lösull	122.00	0.0380	2.000000e-10	40.00	50.00
6	Hunton Nativo Lösull	39.00	0.0380	2.000000e-10	40.00	50.00
7	Hunton Intello Plus	0.20	0.1700	5.333333e-15	2000.00	550.00
8	Stora Enso CLT C3s	80.00	0.1300	4.166667e-12	500.00	470.00
	KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:	LK [W/K](kpl):
4	Hunton Lättbalk Flän	0.1300	7.5	46.00	500.00	---
5	Hunton Lättbalk Liv	0.1800	1.3	46.00	900.00	---
6	Hunton Lättbalk Flän	0.1300	7.5	46.00	500.00	---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA= Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

Lämpötilat ja kosteudet:**Extremsituation, vintervecka. (168.0 h)**

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.75	0.90	0.79	87.9	0.00
2	-19.75	0.90	0.79	87.9	0.00
3	-19.75	0.90	0.79	87.9	0.00
4	-18.19	1.04	0.93	89.1	0.00
5	-11.67	1.85	0.95	51.4	0.00
6	8.73	8.67	1.03	11.9	0.00
7	15.26	13.03	1.06	8.1	0.00
8	15.26	13.03	6.08	46.6	0.00
9	19.17	16.47	8.64	52.5	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kylästäymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:

Extremsituation med ångbroms.

Bärande CLT, 80mm
Hunton Intello Plus, ångbroms
Hunton Lättbalk, 200mm
(Köldbryggor beaktade)
Nativo Lösull 200mm
Hunton Vindtät, 12mm
Luftspalt 32mm
Fasadpanel, UTV 28x170

OK !

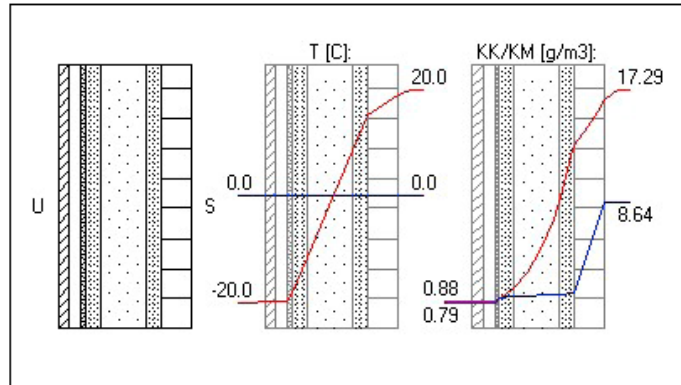
U = 0.168 W/m²K

Rakennuskohde: CLT-yttervägg	Sisältö: Extremsituation utan ångbroms	
Suunnittelija: R.Holmgren	Päiväys: 2018-02-27	Tunnus: US

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.168 W/m²K
Paksuus: 352.200 mm
Pinta-ala: 1.00 m²
Paino: 69.30 kg
Hinta: 67.22 euro

Vesihöyryn vastus: 5.889e+03 m²hPa/g
Vesih. läpäisykerroin: 1.698e-04 g/m²hPa
Lämmönvastus: 5.937 m²K/W
Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Fasadpanel UTV 28x12	28.00	---	---	513.00	430.00
2 Ventileraad luftspalt	32.00	---	---	44.00	74.00
3 Hunton Vindtät	12.00	0.0490	1.200000e-11	250.00	267.00
4 Hunton Nativo Lösull	39.00	0.0380	2.000000e-10	40.00	50.00
5 Hunton Nativo Lösull	122.00	0.0380	2.000000e-10	40.00	50.00
6 Hunton Nativo Lösull	39.00	0.0380	2.000000e-10	40.00	50.00
7 Hunton Intello Plus	0.20	---	---	2000.00	550.00
8 Stora Enso CLT C3s	80.00	0.1300	4.166667e-12	500.00	470.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:	LK [W/K](kpI):
4 Hunton Lättbalk Flän	0.1300	7.5	46.00	500.00	---
5 Hunton Lättbalk Liv	0.1800	1.3	46.00	900.00	---
6 Hunton Lättbalk Flän	0.1300	7.5	46.00	500.00	---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA = Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

Lämpötilat ja kosteudet:**Extremsituation, vintervecka. (168.0 h)**

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.75	0.90	0.79	87.9	0.00
2	-19.75	0.90	0.79	87.9	0.00
3	-19.75	0.90	0.79	87.9	0.00
4	-18.19	1.04	1.16	100.0	13.36
5	-11.67	1.85	1.23	66.6	0.00
6	8.74	8.67	1.46	16.8	0.00
7	15.26	13.03	1.53	11.8	0.00
8	15.26	13.03	1.53	11.8	0.00
9	19.17	16.47	8.64	52.5	0.00
S	20.00	17.29	8.64	50.0	0.00

Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:

Extremsituation utan ångbroms.

Bärande CLT, 80mm
Hunton Lättbalk, 200mm
(Köldbryggor beaktade)
Nativo Lösull 200mm
Hunton Vindtät, 12mm
Luftspalt 32mm
Fasadpanel, UTV 28x170

OK !

Kondensmängden är låg.

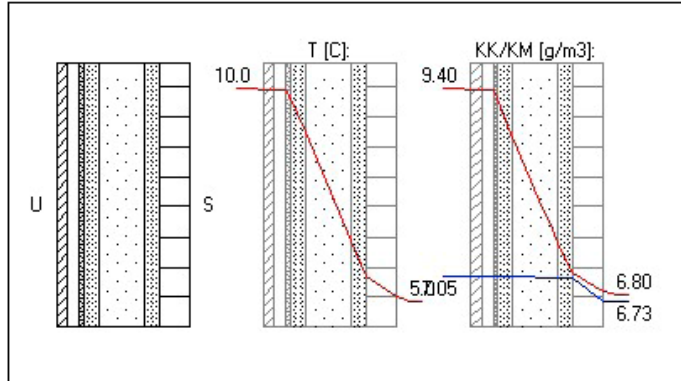
U = 0.168 W/m²K

Rakennuskohde:	Sisältö:	
CLT-yttervägg	Omvänd ångtransport	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
R.Holmgren	2018-02-27	US

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.168 W/m²K
Paksuus: 352.200 mm
Pinta-ala: 1.00 m²
Paino: 69.30 kg
Hinta: 67.22 euro

Vesihöyryn vastus: 5.889e+03 m²hPa/g
Vesih. läpäisykerroin: 1.698e-04 g/m²hPa
Lämmönvastus: 5.937 m²K/W
Pintavastus, ulko: 0.040 m²K/W
Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1	Fasadpanel UTV 28x12	28.00	---	---	513.00	430.00
2	Ventilerad luftspalt	32.00	---	---	44.00	74.00
3	Hunton Vindtät	12.00	0.0490	1.200000e-11	250.00	267.00
4	Hunton Nativo Lösull	39.00	0.0380	2.000000e-10	40.00	50.00
5	Hunton Nativo Lösull	122.00	0.0380	2.000000e-10	40.00	50.00
6	Hunton Nativo Lösull	39.00	0.0380	2.000000e-10	40.00	50.00
7	Hunton Intello Plus	0.20	---	---	2000.00	550.00
8	Stora Enso CLT C3s	80.00	0.1300	4.166667e-12	500.00	470.00
	KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:	LK [W/K](kpl):
4	Hunton Lättbalk Flän	0.1300	7.5	46.00	500.00	---
5	Hunton Lättbalk Liv	0.1800	1.3	46.00	900.00	---
6	Hunton Lättbalk Flän	0.1300	7.5	46.00	500.00	---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

Lämpötilat ja kosteudet: Extremsituation, omvält klimat (168.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	10.00	9.40	7.05	75.0	0.00
1	9.97	9.38	7.05	75.2	0.00
2	9.97	9.38	7.05	75.2	0.00
3	9.97	9.38	7.05	75.2	0.00
4	9.77	9.26	7.03	75.9	0.00
5	8.96	8.80	7.03	79.9	0.00
6	6.41	7.46	7.02	94.2	0.00
7	5.59	7.07	7.02	99.3	0.00
8	5.59	7.07	7.02	99.3	0.00
9	5.10	6.84	6.73	98.3	0.00
S	5.00	6.80	6.73	99.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:

Omvänd ångtransport

Bärande CLT, 80mm
Hunton Lättbalk, 200mm
(Köldbryggor beaktade)
Nativo Lösull 200mm
Hunton Vindtät, 12mm
Luftspalt 32mm
Fasadpanel, UTV 28x170

OK!

Ingen kondens så länge
inomhusluften hålls ventilerad.

U = 0.168 W/m²K

(Beräkningarna baserar sig på formler tagna ur Tillämpad Byggnadsfysik, Petersson 2013)

Ånggenomgångsmotstånd vid partialtryck för de olika skikten:

$$\begin{aligned} Z_{p3} &:= 1 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \text{ sPa} & Z_{p4} &:= 1.95 \cdot 10^8 \text{ m}^2 \text{ sPa} & Z_{p5} &:= 6.1 \cdot 10^8 \text{ m}^2 \text{ sPa} \\ Z_{p6} &:= Z_{p4} \text{ m}^2 \text{ sPa} & Z_{p7} &:= 3.75 \cdot 10^{10} & Z_{p8} &:= 1.92 \cdot 10^{10} \text{ m}^2 \text{ sPa} \end{aligned}$$

ångbroms ej beaktad

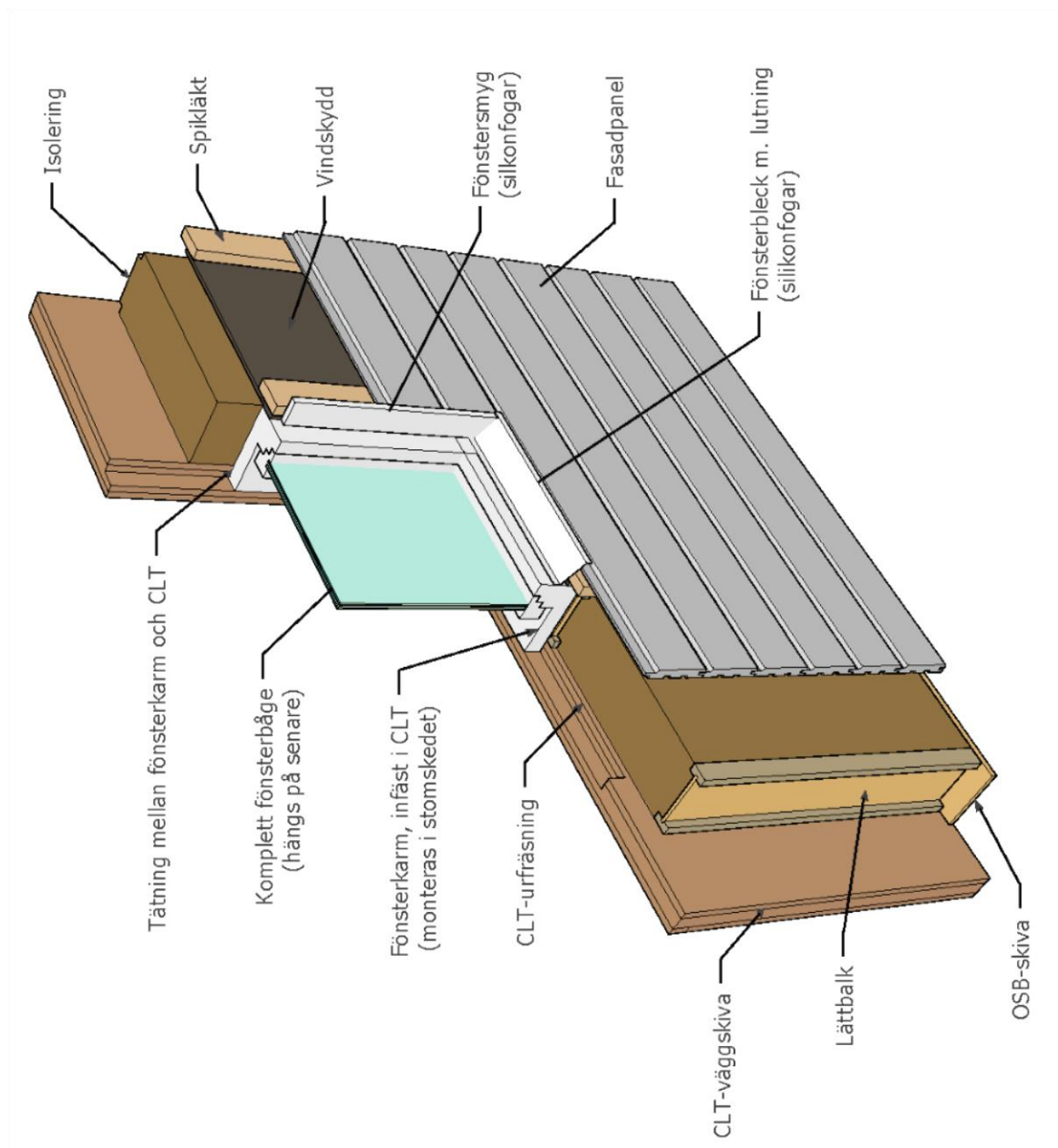
$$\begin{aligned} Z_{IN} &:= Z_{p8} + Z_{p6} + Z_{p5} + Z_{p4} && \text{Ånggenomgångsmotstånd till kondenspunkt} \\ P_{IN} &:= 1168 && \text{Ångtryck, insida} \\ P_{XT1} &:= 122 && \text{Mättnadsångtryck vid kondenspunkt, vid Temperatur X} \\ G_{IN} &:= \frac{1}{Z_{IN}} \cdot (P_{IN} - P_{XT1}) && \text{Fuktflödestäthet, IN} \\ Z_{UT} &:= Z_{p3} && \text{Ånggenomgångsmotstånd, utsida} \\ P_{UT} &:= 92 && \text{Ångtryck, utsida} \\ P_{XT2} &:= 122 && \text{Mättnadsångtryck vid kondenspunkt, vid Temperatur X} \\ G_{UT} &:= \frac{1}{Z_{UT}} \cdot (P_{XT2} - P_{UT}) && \text{Fuktflödestäthet, UT} \\ t_{kond} &:= 3600 \cdot 24 \cdot 7 && \text{Varaktighet för kondensation [s]} \\ G_{kond} &:= (G_{IN} - G_{UT}) \cdot t_{kond} = 0.013 && \text{Kondensation som sker under perioden [kg/m^2]} \\ G_{torkning} &:= \frac{1}{Z_{IN}} \cdot (P_{XT1} - P_{IN}) + \frac{1}{Z_{UT}} \cdot (P_{XT2} - P_{UT}) = -0 && \text{Torkning under perioden [kg/m^2]} \end{aligned}$$

Exempel för torkning, vid förhållanden då konstruktionen kan torka:

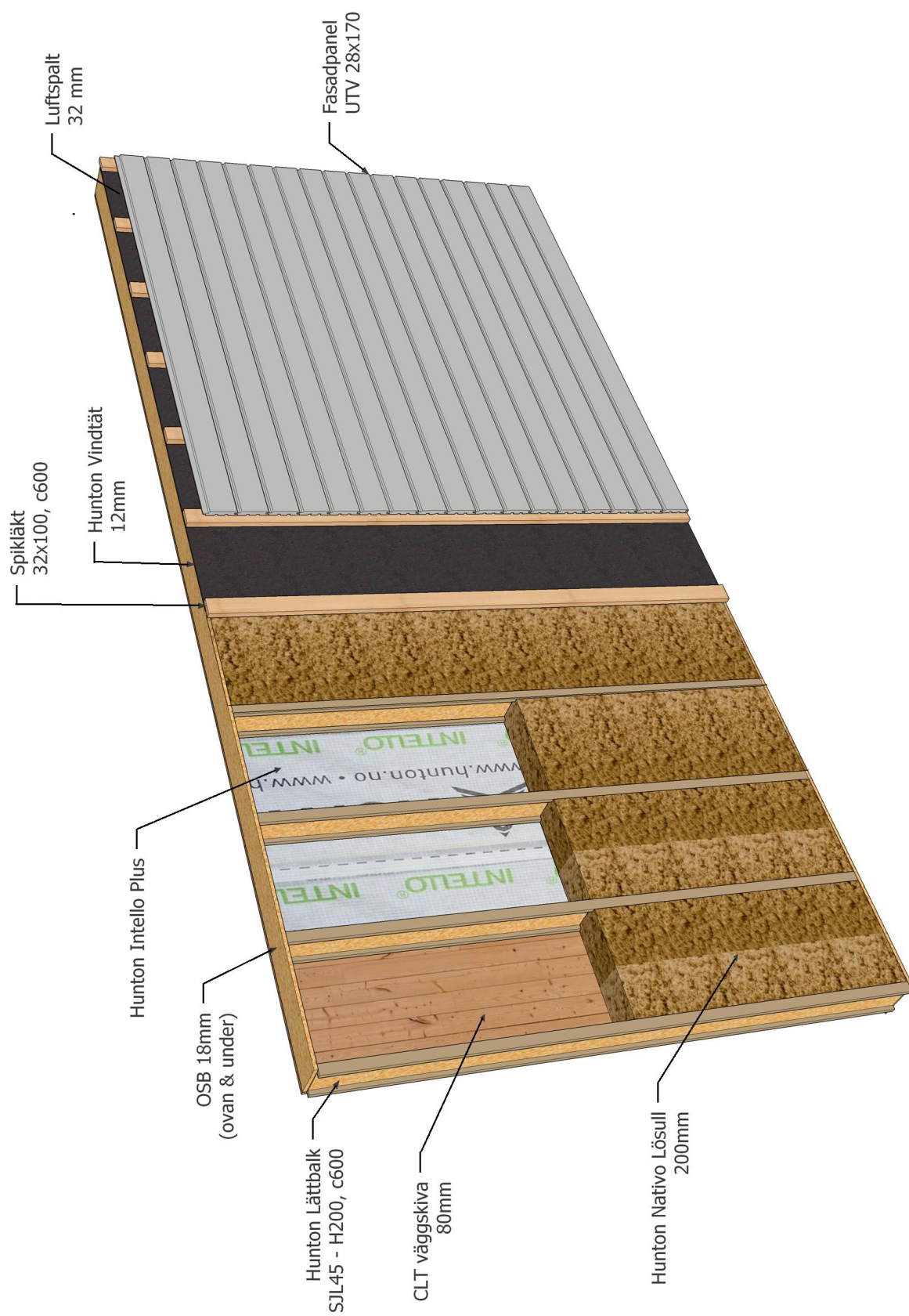
DOF-Lämpö ger för Vasa i Januari, mättnadsångtryck vid samma kondenspunkt på: 351 Pa

$$\begin{aligned} P_{XT3} &:= 351 \\ G_{torkning2} &:= \frac{1}{Z_{IN}} \cdot (P_{XT1} - P_{IN}) + \frac{1}{Z_{UT}} \cdot (P_{XT3} - P_{UT}) = 0.0000002072 \\ \text{Torktid} &:= \frac{G_{kond}}{G_{torkning2}} \cdot \frac{1}{3600 \cdot 24} = 0.736 \text{ [dygn]} \end{aligned}$$

(Holmgren, 2018)



(Holmgren, 2018).



(Holmgren, 2018).